

C. I. E. H.

COMITE INTERAFRICAIN
D'ETUDES HYDRAULIQUES

B. P. 369 - OUAGADOUGOU
BURKINA FASO
TEL. : 33-35-18/33-34-76
TELEX : 52 77 B F

100 5935 A. F. V. P.

ASSOCIATION FRANÇAISE DES
VOLONTAIRES DU PROGRES

B. P. 947 - OUAGADOUGOU
BURKINA FASO
TEL. : 33 26-57
TELEX : 54 07 B F

2 7 6
8 7 D I

LES DIGUES FILTRANTES : AMENAGEMENT DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS

1ère ANNEE D'EXPERIMENTATIONS
EVALUATIONS DANS LA REGION
DE RISSIAN



A. F. V. P.

ETUDE FINANCEE PAR LA COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, REALISEE AVEC LE
CONCOURS DE :

- L'UNIVERSITE AGRONOMIQUE DE WAGENINGEN (PAYS BAS)
- L'UNIVERSITE DE ROSKILDE (DANEMARK)

{ 276-0701-5935

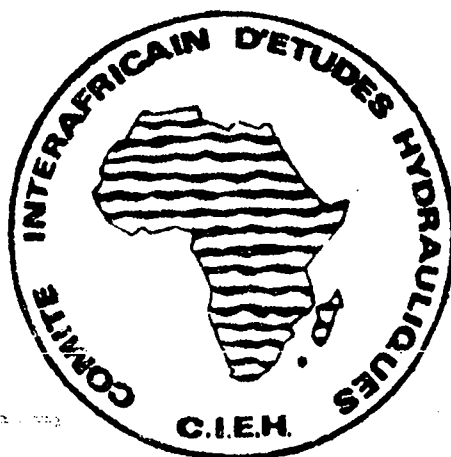
MAI 1987

C. I. E. H.
COMITE INTERAFRICAIN
D'ETUDES HYDRAULIQUES
B. P. 369 - OUAGADOUGOU
BURKINA FASO
TEL : 33-35-18/33-34-76
TELEX : 5277 BF

A. F. V. P.
ASSOCIATION FRANÇAISE DES
VOLONTAIRES DU PROGRES
B. P. 947 - OUAGADOUGOU
BURKINA FASO
TEL : 33 26-57
TELEX : 54 07 BF

LES DIGUES FILTRANTES : AMENAGEMENT DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS

1ère ANNEE D'EXPERIMENTATIONS
EVALUATIONS DANS LA REGION
DE RISSIAN



LIBRARY, INTERNATIONAL CONFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION (IRC)
PO Box 93100, 2509 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

LN 5935
276 87DI



A. F. V. P.

ETUDE FINANCEE PAR LA COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES, REALISEE AVEC LE
CONCOURS DE :

- L'UNIVERSITE AGRONOMIQUE DE WAGENINGEN (PAYS BAS)
- L'UNIVERSITE DE ROSKILDE (DANEMARK)

MAI 1987

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS

INTRODUCTION

1ère PARTIE : EVALUATION PRELIMINAIRE DU PROJET "DIGUES FILTRANTES"
DANS LA REGION DE RISSIAM.

(par Francis MINOZA , Michel PERROUD de l'AFVP (*)
Thorkil ORUM du CIEH (**))

1.1. Introduction	I.1
1.2. Le contexte du projet	1
1.2.1. Le cadre régional	1
1.2.2. L'environnement socio-économique du projet	2
1.2.2.1. Démographie	2
1.2.2.2. Economie régionale	3
1.2.2.3. Administration locale	3
1.2.2.4. Les ethnies	4
1.2.2.5. Religions	5
1.2.2.6. Structures locales	5
1.2.2.7. Infrastructures et équipements	6
1.2.2.8. Eau et santé	7
1.2.2.9. Activités des femmes	8
1.2.2.10. Projets futurs et préoccupations	9
1.2.2.11. Emigration	10
1.2.3. Les digues filtrantes : perception de la technique par les villageois.	I-10

(*) AFVP : Association Française des Volontaires du Progrès.

(**) CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques.

1.3. Présentation technique des digues filtrantes.	I-11
1.3.1. Principe et fonctionnement.	11
1.3.2. Caractéristiques techniques.	12
1.3.3. Inventaire des réalisations (80-86)	15
1.3.4. Comportement des digues filtrantes.	16
a) Fonctionnement normal	
b) Comblement	
c) Affaissement	
d) Rupture	
1.3.5. Modifications , adaptations et entretien	19
1.3.5.1. Modifications	19
a) Comblement	
b) Affaissement	
c) Rupture	
1.3.5.2. Adaptations	21
1.3.5.3. Entretien	21
1.3.6. Perspectives	22
1.4. Utilisation agricole des digues filtrantes.	22
1.4.1. Impact sur la production agricole.	22
1.4.1.1. Fertilisation des sols	22
1.4.1.2. Amélioration des rendements	23
1.4.2. Problèmes rencontrés et contraintes	23
1.4.2.1. Divagation des animaux	23
1.4.2.2. Submersion des cultures	23
1.4.2.3. Verse des cultures	23
1.4.2.4. Maturité prolongée	24
1.4.3. Modification du système cultural	24
1.4.3.1. Introduction de la culture attelée	24
1.4.3.2. Utilisation de nouvelles variétés	24
1.4.3.3. Diversification des cultures	24
1.4.3.4. Association des cultures : sorgho-riz	25
1.5. Conclusion	I-25

**2ème PARTIE : 1ère ANNEE D'EXPERIMENTATION SUR LES DIGUES FILTRANTES
DE LA REGION DE RISSIAM : COMPTE RENDU.**

(par F.VISSCHER de l'UAW (*) et H.PIATON du CIEH)

2.1. Introduction	II-1
2.1.1. Le milieu physique	1
2.1.1.1. Géomorphologie	1
2.1.1.2. Géologie	1
2.1.1.3. Pédologie	2
2.1.1.4. Végétation	2
2.1.2. Les objectifs de l'étude	2
2.1.3. Le contenu	3
2.1.3.1. Le dimensionnement des digues	3
2.1.3.2. L'impact des digues filtrantes	3
2.1.4. Les démarches adoptées	3
2.2. Etude du fonctionnement hydraulique des digues et élaboration d'une méthode de dimensionnement	5
2.2.1. Objectif de la mesure	5
2.2.2. Méthode utilisée	5
2.2.2.1. Principe	5
2.2.2.2. Matériel mis en place	6
2.2.2.3. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés	7
2.2.3. Résultats obtenus	7
2.2.3.1. Sur l'ensemble de la période de mesures	7
2.2.3.2. Calcul des débits pour des pluies lières	8
2.2.3.3. Précision des résultats	9
2.2.3.4. Amortissement d'une crue : première approximation	10
2.2.3.5. Relations entre débit de filtration et caractéristiques géométriques d'une digue	12
2.2.3.6. Déversements	II-13

(*) UAW : Université Agronomique de Wageninigen (Pays-Bas)

2.2.4. Discussion et Conclusion	II-15
2.2.4.1. Relation entre débit de filtration et caractéristiques géométriques d'une digue	15
2.2.4.2. L'influence d'une digue sur l'amortissement des crues	18
2.2.4.3. Les déversements	19
* Tableaux et figures se rapportant au paragraphe 2.2 *	20
2.3. Le calcul de la crue de projet : coefficients de ruissellement sur petits bassins versants.	34
2.3.1. Objectifs de la mesure	34
2.3.2. Méthode utilisée	34
2.3.2.1. Principe de calcul de la crue de projet	34
2.3.2.2. Principe des mesures réalisées	36
2.3.2.3. Matériel mis en place	37
2.3.2.4. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés	37
2.3.3. Résultats obtenus	38
2.3.3.1. Site des barrages	38
2.3.3.2. Les sites des digues filtrantes	40
2.3.4. Discussions-conclusions	41
2.3.4.1. Méthode d'interprétation	41
2.3.4.2. Bassin versant du barrage du Birou	42
2.3.4.3. Bassin versant du barrage de Temporé	44
2.3.4.4. Tous bassins confondus (Birou, Temporé, Sankondé, Nané)	47
2.3.4.5. Synthèse	51
2.3.4.6. Le calcul de la crue décennale	55
2.3.4.7. Application au dimensionnement des digues filtrantes	57
2.3.4.8. Recommandations	62
* Tableaux et figures se rapportant au paragraphe 2.3 *	63
2.4. Evaluation de l'infiltration à l'amont des digues filtrantes	65
2.4.1. Objectif de la mesure	65
2.4.2. Méthode utilisée	65
2.4.2.1. Principe	65
2.4.2.2. Localisation des mesures	66
2.4.2.3. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés	II-67

2.4.3. Résultats obtenus	II-67
2.4.4. Discussions	69
2.4.4.1. Les limites de l'expérimentation	69
2.4.4.2. Interprétation des résultats	69
* Tableaux et figures se rapportant au paragraphe 2.4 *	72
2.5. L'impact agricole des digues filtrantes	75
2.5.1. Objectif des observations	75
2.5.2. Méthode utilisée	75
2.5.2.1. Principe	75
2.5.2.2. Choix et caractéristiques des sites	76
2.5.2.3. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés	77
2.5.3. Reconstitution et qualité des sols	77
2.5.3.1. Résultats obtenus	77
2.5.3.2. Discussion - Conclusions	80
* Tableaux et figures se rapportant au paragraphe 2.5.3 *	87
2.5.4. Utilisation et résultats agricoles	97
2.5.4.1. Résultats obtenus	97
2.5.4.2. Discussion - Conclusions	98
* Tableaux et figures se rapportant au paragraphe 2.5.4 *	107
2.5.5. Conclusion - Recommandations	114
2.5.5.1. Conclusion	114
2.5.5.2. Recommandations	115
2.6. Conclusion	116
2.6.1. Fonctionnement hydraulique des digues filtrantes	116
2.6.2. Le calcul de la crue de projet : coefficients de ruissellement sur petits bassins versants	116
2.6.3. L'infiltration à l'amont des digues	117
2.6.4. Impact agricole des digues filtrantes	118
2.6.4.1. Reconstitution des sols et leurs qualités physico-chimiques	118
2.6.4.2. Utilisation et résultats agricoles	II-118

3ème PARTIE : ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES:
INTERETS ET MOTIVATION DES VILLAGEOIS.

(par C. LUND (Université de Roskilde-Danemark)
T. ORUM (CIEH))

3.1. Introduction	III-1
3.1.1. Objectif de l'étude	1
3.1.2. Méthode de travail	2
3.2. Intérêts socio-économiques	4
3.2.1. Effet des digues filtrantes sur la nappe phréatique de faible profondeur	4
3.2.2. Effet agricole et écologique des digues filtrantes	5
3.2.3. Rentabilité des digues filtrantes: un exemple	7
3.2.3.1. Les hypothèses de base	7
3.2.3.2. Le coût d'une digue	8
3.2.3.2.1. Le coût de l'investissement humain	8
3.2.3.2.2. Le coût du projet	8
3.2.3.2.3. Un exemple : RIMASSA	9
3.2.3.3. Conclusions	10
3.3. Les problèmes rencontrés	11
3.3.1. L'entretien des ouvrages	11
3.3.2. Le problème des cotisations	13
3.3.2.1. La collecte individuelle des cotisations	13
3.3.2.2. Le prélèvement sur les fonds des groupements villageois	14
3.3.2.3. Conclusions	15
3.3.3. Concurrence avec les autres activités	16
3.3.4. La mobilisation des villageois pour les projets	19
3.3.4.1. La situation actuelle et les problèmes rencontrés	19
3.3.4.1.1. Quels sont les premiers bénéficiaires des digues filtrantes?	19
3.3.4.1.2. Le problème de l'or	21
3.3.4.1.3. La participation des bénéficiaires	21
3.3.4.1.4. Propositions	III-22

3.4.4.2.	L'élargissement des projets à la construction de diguettes anti-érosives	III-23
3.3.4.3.	La redistribution des différentiels de production	24
3.4.	Conclusions	III-27

ANNEXES:

Annexes de la 2ème partie:

- annexes 1 :	Fonctionnement hydraulique des digues filtrantes	A.1
+ Equipement et dimensions des seuils		A.1.1
+ Carte de localisation		A.1.2
+ Relevés d'observation de pluviométrie et de niveaux sur les seuils de Sankondé et de Nané		A.1.3
+ Pluviométrie 1986 à Kongoussi		A.1.4
+ Courbes hauteurs - volumes retenus derrière les digues de Sankondé et Nané		A.1.5
+ Dépouillement du limnigraphe à l'amont de la digue de Sankondé et Nané		A.1.6
+ Dignes de Sankondé et Nané: surfaces de filtration en fonction de la hauteur		A.1.7
+ Programme de calcul du débit déversant sur une digue filtrante en fonction de la hauteur		A.1.8
- annexe 2 :	Coefficients de ruissellement des bassins versants	A.2
+ Pluies et hauteurs d'eau dans les retenues : exemples		A.2.1
+ Détermination des courbes hauteurs - volumes des retenues		A.2.2
+ Calcul du coefficient de ruissellement des pluies sur les bassins versants des digues filtrantes de Sankondé et Nané		A.2.3
+ Exemples d'analyse de l'intensité de la pluie pour deux épisodes pluvieux sur les bassins versants de la digue filtrante de Sankondé		A.2.4

- annexe 3 : Infiltration et observations
sur les cultures

A.3

- + Type de densimètre utilisés A.3.1
- + Plan des sites A.3.2
- + Levés topographiques de quelques sites A.3.3
- + Observations sur la récolte A.3.4

Annexe de la 3ème partie :

Connaissance des structures villageoises :
Questionnaire préalable

A-III

AVANT PROPOS

Le présent document est le résultat d'un travail collectif entrepris par l'AFVP (Association Française des Volontaires du Progrès), et le CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques), avec la collaboration de l'UAW (Université Agronomique de Wageningen, Pays Bas) et de l'Université de Roskilde (Danemark), sur un financement de la Commission des Communautés Européennes.

Il présente les éléments obtenus au terme de la première année, centrée autour de l'hivernage 1986, d'un projet d'expérimentations-évaluations de la technique de conservation des eaux et des sols par "digues filtrantes" mise en oeuvre depuis quelques années par l'AFVP dans la région de RISSIAM, près de KONGOUSSI, au BURKINA FASO. Ces éléments seront complétés par au moins une autre année d'expérimentations-évaluations en 1987.

Il est divisé en trois parties bien distinctes : la première est une évaluation préliminaire effectuée en juillet-août 1986 par MM. Francis MINOZA et Michel PERROUD, Conseillers techniques de la délégation Régionale de l'AFVP au Burkina Faso, et M. Thorkil CRUM, Sociologue au CIEH. Cette évaluation a permis de dégager les bases techniques et socio-économiques des travaux ultérieurs.

La seconde partie est le compte rendu des expérimentations techniques réalisées par M. Frans VISSCHER, étudiant en génie rural de l'UAW au cours d'un stage effectué de Juillet à Novembre 1986 sous la direction de MM. Michel PERROUD (AFVP) et Hervé PIATON responsable du département hydraulique agricole du CIEH, et présentés par F. VISSCHER et H. PIATON.

La troisième partie présente les résultats d'enquêtes socio-économiques réalisées par M. Christian LUND, Stagiaire de l'Université de Roskilde de septembre à décembre 1986, et rédigés par lui sous la direction et avec l'aide de Thorkil ORUM et H. PIATON.

Ces mesures et enquêtes ont bénéficié du support logistique de l'AFVP. Nous adressons des remerciements aux Volontaires, aux animateurs et aux paysans des villages ou quartiers de Sankondé, Nané, Gonsé, Rissiam, Boallé, Yougounini, Birou, Temnaoré, Bambsi, Denguilga, Temporé, Hamdallay, Sakounda, (KOUNGOUSSE), ainsi que ceux de Doundegué, Manavalé, Pogonaoma, (BOURZANGA), de Hiwolenga, Golonza, Rissiam, Solobo (TITAO) qui ont permis directement ou indirectement la réalisation de ces travaux et enquêtes. Que soient remerciés également l'antenne de l'ORSTOM à Ouagadougou et l'EIER pour le prêt de matériel de mesure, et tous ceux qui ont apporté leur aide et leurs conseils pour la réalisation de ces travaux.

I N T R O D U C T I O N

Au cours de la saison sèche de 1980, les villageois de RISSIAM ont demandé au projet "petits barrages" de KONGOUSSI qui devait les aider à réaliser une retenue d'eau, de trouver un moyen pour arrêter la ravine qui s'élargissait chaque année davantage au centre de leur village.

Le Volontaire chargé du suivi du projet, décida alors de construire une digue en pierres libres pour ralentir l'écoulement de l'eau et éviter la concentration du courant dans la ravine.

Le premier hivernage permit de vérifier l'efficacité de l'ouvrage. L'érosion régressive fut stoppée et la ravine en amont de la digue se combla presque entièrement d'alluvions.

Le propriétaire du champ reconstitué par les alluvions décida le deuxième hivernage de cultiver de nouveau son terrain. Les résultats furent spectaculaires car la récolte fut la meilleure de la région en qualité et en quantité.

En 1982 un nouvel essai de digues en pierres libres fut réalisé. Ce fut la première digue filtrante à vocation hydro-agricole, car elle devait filtrer l'eau pour ralentir son écoulement et retenir les alluvions afin d'améliorer la production agricole des terrains en amont.

Les trois années suivantes le projet "petits barrages" essaya de réaliser un maximum de ces ouvrages dans la région de RISSIAM, en fonction des disponibilités des camions. On peut dénombrer actuellement 103 digues filtrantes réparties dans 7 villages (RISSIAM - SANKONDE - NANE - GONSE - NONGOU - MOGODE - RONGUEN).

Malgré le nombre important des ouvrages déjà réalisés, les villageois de la région de RISSIAM, pensaient qu'il était nécessaire de trouver les moyens de réaliser un programme plus important de digues filtrantes. Un groupement de 13 villages s'organisa au début de l'année 1985 avec l'idée de permettre la mise en place d'un projet spécifique de digues filtrantes sur ces villages.

Ce projet a été élaboré en collaboration avec le groupement des villages de la région de RISSIAM et devait commencer à être opérationnel au début de la saison (1986 - 1987).

L'A.F.V.P. encouragée par les résultats spectaculaires des premières digues filtrantes, cherche actuellement à vulgariser cette technique aux différentes régions du BURKINA où de tels ouvrages peuvent avoir un intérêt. Cette vulgarisation est effectuée par l'intermédiaire des projets d'hydraulique de surface déjà en place dans les provinces du BAM, du YATENGA, du SOUROU, du MOUHOUN, du BOULKIEMDE et du GANZOURGOU.

Au terme de cette première phase de réalisation et de mise au point empirique des digues filtrantes et avant de s'engager dans une phase intensive de vulgarisation de cette technique, il est indispensable d'effectuer une évaluation socio-économique et technique, qui permettra de dégager des éléments de conception, d'implantation et de dimensionnement.

Cette évaluation fait l'objet d'un projet mis en oeuvre conjointement par le CIEH et l'AFVP, qui comporte des mesures et expérimentations, ainsi que des enquêtes auprès des villageois. Le présent document constitue le rapport d'avancement, au terme d'une année de fonctionnement de ce projet.

1. - PREMIERE PARTIE :

EVALUATION PRELIMINAIRE DU PROJET
"DIGUES FILTRANTES" DANS LA REGION DE RISSIAM

par Francis MINOZA (AFVP)
Michel FERROUD (AFVP)
Thorkil ORUM (CIEH)

1.1. - Introduction :

Avant de se lancer dans un programme précis d'expérimentations et d'évaluations, il semblait nécessaire de faire le point sur l'ensemble des connaissances réelles ou estimées, dont disposait l'AFVP à l'issue de presque cinq années de pratique des diges filtrantes.

Il a donc été procédé à une évaluation préliminaire de la technique utilisée et de son impact agricole, ainsi que du contexte socio-économique dans lequel elle s'inscrit. Cette évaluation a permis de faire apparaître des lacunes, d'énoncer des affirmations à vérifier, ou à préciser, et ainsi d'orienter les travaux ultérieurs, tant sur le plan technique que socio-économique.

La présentation de cette évaluation permettra également de décrire au lecteur le contexte du projet et de le familiariser avec cette technique d'aménagement.

1.2. - Le contexte du projet :

1.2.1. - Le cadre régional : Situation physique .

RISSIAM est situé à 120 km au Nord de OUAGADOUGOU dans la Préfecture de KONGOUSSI, province du BAM.

RISSIAM se trouve à la frontière du SAHEL, l'érosion accentue chaque année les deux problèmes principaux de la population, à savoir : le manque d'eau et le déficit alimentaire.

Dans cette région soudano-sahélienne, la faible pluviométrie (500 à 600 mm/an) a tendance à accélérer le processus de disparition du couvert végétal et de la couche de terre arable. Les sols sont assez peu fertiles et à dominance latéritique. En dehors des zones d'éboulis, des buttes cuirassées, on trouve les zones d'épandage de matériaux fins où la cuirasse est à plus de 50 cm de profondeur. La région étant très collinaire, le ruissellement des eaux de pluies forme de profondes ravines dans les bas-fonds. Des champs entiers disparaissent et des calottes latéritiques incultes apparaissent de plus en plus nombreuses. La nappe phréatique baisse régulièrement. De nombreux puits tarissent. La mauvaise pluviométrie ne permet pas aux nappes souterraines de se réalimenter pendant l'hivernage et il en découle des situations catastrophiques en saison sèche.

1.2.2. - L'environnement socio-économique du projet :

1.2.2.1. - Démographie :

La région de RISSIAM, comme toute la province de BAM, est caractérisée par une forte densité de population (60 hab/km²) en grande majorité de l'ethnie Mossi. Cette démographie importante cause de nombreux problèmes au niveau de l'exploitation des potentialités de la région (surpâturage, déforestation, approvisionnement en eau et en nourriture).

La présente évaluation couvre 13 villages situés dans un rayon de 8 km de Kongoussi. On accède facilement à RISSIAM qui se trouve sur la piste Kongoussi-Tikaré, contrairement aux autres villages dont les pistes d'accès sont en mauvais état. L'échelle de grandeur des villages varie de façon importante. Les deux villages de plus grande importance sont Rissiam (2.017 habitants) et Sargo (1.313 habitants). Le recensement des habitants de Rissiam comprend les villages de Nané et Boallé - le nombre réel d'habitants à Rissiam est donc d'environ 1.500 - ce qui équivaut à la population de Sargo.

Tableau 1.1. : nombre d'habitants et familles

village	Nb d'habitants	Nb de familles
Rissiam	2.017	-
Sargo	1.313	30
Ronguen (2)	780	13
Nogodé	776	40
Sargo	741	17
Niéniéga-Foulbé	546	35
Niéniéga	468	18
Nané (1)	300	6
Nongou (2)	300	9
Badionogo	214	12
Sankondé	106	8
Gonsé	102	5
Boallé (1)	-	17

Les chiffres concernant le nombre d'habitants sont tirés des résultats du recensement de décembre 1985 - par contre le nombre de familles a été donné par les villageois.

- (1) inclus dans Rissiam pour le recensement.
 (2) nombre donné par les villageois.

La population active est estimée à 45 %, elle est formée presque exclusivement de cultivateurs.

Le taux de scolarisation est de l'ordre de 10 %. Quelques écoles primaires sont réparties en brousse, il faut aller à KONGOUSSI pour le secondaire. Depuis plusieurs années, on assiste à un courant d'émigration ; des jeunes vont chercher du travail dans les villes ou en Côte d'Ivoire et des familles entières partent dans les régions du BURKINA plus riches.

1.2.2.2. - Economie régionale :

L'activité principale de la région est l'agriculture vivrière : culture du mil, du sorgho, du maïs et parfois du riz pendant l'hivernage. L'agriculture de rente est limitée à la culture des arachides et parfois d'un peu de coton.

La faible pluviométrie et la mauvaise répartition des pluies impliquent des cultures difficiles et des rendements souvent médiocres.

Le maraîchage autour du lac de Bam est un facteur important dans l'économie locale. La production de haricots verts était de l'ordre de 2.452 t en 1984/85 et les superficies exploitées étaient de 321 ha. (Impact socio-économique du maraîchage au lac de Bam sur la condition des femmes. Guylaine Laurent. Avril 1986).

La quasi totalité des villages limitrophes de Kongoussi participent aux cultures maraîchères. Les marchés traditionnels locaux assurent des revenus non négligeables aux différents groupes sociaux : artisans, commerçants, femmes et jeunes. On y trouve les produits de l'artisanat de saison sèche (sékos, nattes, paniers, outils...), les produits de récoltes diverses (mil, arachides, piment) et les produits de transformation (bière de mil, beurre de karité, beignets).

1.2.2.3. - Administration locale :

Le Haut Commissaire de la Province de Bam est basé à Kongoussi, ainsi que le Préfet et les différents services administratifs.

Les Organismes Régionaux de Développement (ORD) sont les principaux coordinateurs des actions agricoles en milieu rural.

Chaque village de la région de RISSIAM est administré par un bureau de C.D.R. (Comité de Défense de la Révolution).

Le nombre de familles (concessions) tel qu'il a été déterminé après enquête auprès des villageois donne une gamme de variation comprise entre 13,3 et 60,0, chiffres qui paraissent peu vraisemblables - la notion de "famille" chez les villageois est très souple et comprend parfois plusieurs concessions. Une enquête beaucoup plus poussée serait nécessaire pour évaluer le nombre exact des membres d'une famille, plusieurs enquêtes initiales laissent supposer que la moyenne se situe entre 10 et 12 personnes par famille.

1.2.2.4. - Les ethnies :

L'ethnie dominante dans la région est celle des Mossis. 11 des 13 villages considérés sont des villages Mossis. Parmi ceux-ci, plusieurs ont une population ethnique mitigée :

- Rissiam et Nané où se trouvent des Peuls ;
- Rissiam et Boallé peuplés par des forgerons qui habitaient cette région avant les Mossis et qui sont des descendants des autochtones ;
- Rissiam, Niémiéga, Nané, Gonsé, Boallé, Nongon et Sorgho où se trouvent des Tengsoba (Chef des terres) ;
- Renguen et Sorgho où se trouvent des Yarcés ;
- Niémiéga foubé est un village Peul de 546 habitants qui se sont sédentarisés depuis plusieurs générations ;
- Mogodé est un village silmi-mossi de 776 habitants.

Tableau 1.2. : Ethnies

ETHNIES	NOMBRE	VILLAGES
Mossi		11
Mossi et Peul	2	
Mossi et Forgeron	2	
Mossi et Tengsoba	7	
Mossi et Yarcé	2	
Peul		1
Silmi Mossi		1

1.2.2.5. - Religions :

Dans la majorité des villages (10), on distingue plusieurs religions : catholique, musulmane, animiste et parfois protestante. La religion musulmane domine 3 villages Niéniéga-Foulbé, Mogodé et Sorgo alors qu'ailleurs elle est minoritaire.

Tableau 1.3. : Religions

RELIGION	NBRE DE VILLAGES
Catholiques, Protestants, Animistes, Musulmans	9
Catholiques, Protestants, Animistes	1
Musulmans	3

1.2.2.6. - Structures locales

Les structures les plus répandues sont les groupements villageois et les groupements des femmes. Dans quelques villages le groupement des jeunes remplace le groupement villageois. Un seul village Badionogo n'a aucun groupement. La structure traditionnelle "les rakennaam", (groupements des célibataires) n'existe plus - les groupements de jeunes leur ont succédé il y a une quinzaine d'années, et eux-mêmes se sont transformés en groupements villageois il y a environ 5 à 10 ans.

L'activité principale du groupement villageois et du groupement de jeunes est l'exploitation d'un champ collectif, alliée parfois à d'autres activités telles que la réparation de routes, le travail pour des particuliers. La culture la plus courante est celle du mil, associée à une culture de rente telle que l'arachide ou le coton.

Le mil est consommé à l'occasion des travaux réalisés en commun, alors que le revenu des cultures de rente est utilisé soit pour des projets du groupement soit pour des prêts à des particuliers. Les groupements de femmes concentrent également leur activité principale autour de l'exploitation d'un champ collectif mais se sont en plus organisés pour faire du maraîchage. Le produit de la récolte est ensuite vendu soit au village même soit à Rissiam ou Kongoussi. Le plus souvent les femmes cultivent de l'arachide ou du coton et parfois du mil. Le mil sert à la consommation tandis que le revenu de la culture de

rente est déposé dans une caisse commune. La différence est remarquable entre la capacité d'épargne des femmes et celles des hommes.

Deux groupements villageois seulement ont constitué une caisse qui reste relativement modeste (26.000 F CFA et 2.500 F CFA). Par contre, parmi les groupements de femmes, on a pu constater l'existence de 8 caisses communes dont les montants variaient entre 5.000 F CFA et 150.000 F CFA établissant une moyenne de 54.000 F CFA. Ces données doivent être jugées avec précaution, compte tenu de la méfiance des villageois lorsqu'il s'agit de vérifier le montant d'une caisse - il est tout de même certain que les femmes ont des capacités d'épargne bien supérieures à celles des hommes. Il faut noter aussi le fait que ce sont les femmes uniquement qui cotisent pour le forage (voir 1.2.2.8.) et qu'elles ont largement conservé leur indépendance économique traditionnelle (voir activités des femmes : 1.2.2.9.).

Tableau 1.4. : Structures locales

STRUCTURES	NBRE DE VILLAGES
Groupements villageois	10
Groupements jeunesse	4
Groupements de femmes	12
PPIL (1)	10
Caritas (2)	4
UNESCO	1
SIX S (3)	7
ORD	1

(1) : 3 villages participent au projet de Rissiam

(2) : 2 villages participent au projet de Rissiam

(3) : 4 villages participent au projet de Rissiam

1.2.2.7. Infrastructures et équipements :

Etant donné les importances différentes des villages, on ne s'étonnera pas de rencontrer une grande diversité dans les infrastructures de ces villages. Les deux villages les plus importants sont également les mieux nantis. Ils disposent d'une école, d'un dispensaire, d'une maternité, d'un moulin et d'une banque de céréales. Deux autres villages possèdent aussi un dispensaire, une maternité et une banque de céréales. A Mogodé, on trouve en plus un moulin. C'est la banque de céréales qui est l'équipement le plus répandu; il y en a dans cinq villages: Badionogo, Ronguen, Sorgo et Niéméga-Mossi. Les peuls résidant dans ce dernier village, participent à la banque de céréales de

Niémiéga-Mossi. Parmi ces villages, quatre d'entre eux, de petite importance, ne disposent d'aucune infrastructure et d'aucun équipement.

Tableau 1.5 : infrastructures et équipements

infrastructures et équipements	nombre de villages
banques de céréales	9
dispensaires	4
maternités	4
moulins	3
écoles	2

1.2.2.8. Eau et santé :

Disposer d'une eau saine représente sans aucun doute un des besoins fondamentaux des villages. Ce besoin est largement satisfait sauf dans le cas des villages de Niémiéga-Foulbé et de Nongou où il n'y a pas de forage. Niémiéga-Foulbé est un cas assez particulier puisque c'est le village le plus pauvre et le plus dépourvu de tous les villages pris en compte par l'enquête. Ce village de 550 habitants ne comporte aucun point d'eau.

En ce qui concerne la santé, l'enquête a démontré qu'il y a une bonne compréhension des problèmes sanitaires. Le ver de Guinée a presque disparu. Dans plusieurs cas, cependant, on a pu constater que l'eau du bullis était utilisée pendant l'hivernage; un village a expliqué cet état de fait par la fermeture du forage pendant l'hivernage car les gens ne voulaient pas payer l'eau durant cette période. Le système de cotisation est mis en place par les villageois qui assurent également le nettoyage du forage. Ce sont les femmes uniquement qui cotisent. Elles versent 5 FCFA/seau soit 25 à 50 FCFA/jour.

Tableau 1.6 : forages

villages avec forages	11
villages sans forage	2

1.2.2.9. - Activités des femmes :

Le sujet traitant des activités collectives des femmes a déjà été abordé plus haut (cf. paragraphe 1.2.2.6. Structures locales) et nous a permis de souligner leur indépendance économique et leur capacité à l'épargne. La base matérielle de cette indépendance est dans les champs que les femmes exploitent pour elles-mêmes. On a pu constater que la division traditionnelle entre les champs des hommes et ceux des femmes est toujours une réalité. Bien que les toutes récentes activités de maraîchage autour du lac de BAM, aient favorisé le pouvoir économique du mari vis à vis de la femme, ces champs privés des femmes assurent une bonne partie de la nourriture journalière et les cultures de rente sont une source importante de revenus, même pour une économie de subsistance à 99 %. Autour du lac de BAM, une étude récente a montré que l'impact du maraîchage a eu des conséquences néfastes sur les conditions de vie de femmes en général et sur leur indépendance économique en particulier. La plupart des travaux de maraîchage exécutés par les femmes et les enfants sont sur des parcelles qui sont la propriété du mari.

Les travaux sur les parcelles et les voyages à pied quotidiens entre le lac de BAM et le village distant parfois de plus de 5 km pèsent lourdement sur les femmes déjà surchargées par les travaux ménagers.

La rémunération des productions maraîchères a entraîné un regain d'intérêt chez les hommes qui considèrent de plus en plus les cultures vivrières comme étant du ressort des femmes. Ce sont elles qui effectuent presque totalement les récoltes de mil et de sorgho : en effet, dès la fin du mois de septembre, les hommes commencent à s'affairer sur les parcelles destinées au maraîchage.

Le maraîchage ne fournit qu'un revenu médiocre au travailleur, c'est le propriétaire de la parcelle qui en tire le plus grand profit donc le mari, bien que ce soit la femme qui ait exécuté la plupart des travaux.

Le maraîchage autour du lac de BAM est une activité très répandue, seulement deux villages parmi ceux touchés par l'enquête ne font pas de maraîchage à BAM. Les revenus tirés du maraîchage servent principalement à l'achat de vivres et de vêtements, mais étant donné que cet argent est géré par les hommes, une grande partie est consacrée à leurs besoins personnels et notamment au dolo ; l'existence de nombreuses dolotières à Kongoussi suggérait cet état de fait qui a été confirmé par l'enquête.

Tableau 1.7. : Maraîchage

Nombre de villages avec maraîchage au lac de BAM	11
Nombre de villages avec maraîchage au village	5

1.2.2.10 - Projets futurs et préoccupations :

Une des questions soulevées par l'enquête était de déterminer quelles sont les préoccupations actuelles et les projets futurs des villageois.

On peut considérer que les réponses apportées reflètent en grande partie les préoccupations actuelles des villageois même si dans une certaine mesure elles sont données en fonction de ce que les villageois croient être l'attente de l'enquêteur. Le premier fait notable est la différence marquée entre les projets des hommes et ceux des femmes, différence qui reflète d'une manière très nette les conditions particulières de vie à ces deux groupes.

L'intérêt principal des hommes concerne les digues filtrantes, réponse sans surprise, puisque l'enquête a pour but d'évaluer l'impact des digues filtrantes déjà réalisées en vue de l'élaboration d'un futur projet ; viennent ensuite des demandes au niveau de 4 villages pour des forages et de 4 autres pour des outils en vue de réparer les digues existantes. Un village a établi une demande pour un barrage et un autre pour une école et un dispensaire.

Tableau 1.8. : Projets des hommes

PROJET	NBRE DE VILLAGES
Digues	10
Forages	4
Outils	4
Barrage	1
Ecole	1
Dispensaire	1
Élevage	1

Les préoccupations majeures des femmes exprimées dans sept villages sont l'eau, un moulin et un centre de tissage. Deux villages seraient intéressés par le maraîchage, un village parle de l'élevage. Des demandes ont été faites pour deux maternités tandis qu'un dernier village voudrait une machine à coudre. Dans un seul cas, le problème de l'obtention de vivres a été soulevé, il s'agit de Niéniéga-Foulbé dont l'enquête a révélé qu'il s'agissait du village le plus dépourvu.

Tableau 1.9. : Projets des femmes

PROJET	NBRE DE VILLAGES
Forage	7
Centre de tissage	7
Moulin	7
Maraîchage	2
Maternité	2
Élevage	1
Machine à coudre	1

1.2.2.11. - Emigration

La sécheresse, la dégradation des sols et la poussée démographique ont favorisé l'émigration vers la partie méridionale du BURKINA, l'enquête a pu mettre en évidence le même processus dans 7 des 13 villages. A l'exception de deux villages, Niéniéga-Foulbé et Gonsé où un pourcentage assez élevé de la population a émigré, le phénomène ne se pose pas de manière inquiétante actuellement. Dans la majorité des villages, il s'agit de 2 à 5 % de la population totale.

Tableau 1.10 : Emigration

VILLAGE	EMIGRATION EN % DE LA POPULATION TOTALE
Gonsé	39,2
Niéniéga-Foulbé	10,9
Bouguen - Nané	3,8/3,3
Mogodé	2,1
Sorgo	2,0
Sorgo	0,7
Rissiam, Niéniéga	
Badionogo, Nongou	0,0

1.2.3. - Les digues filtrantes : perception de la technique par les villageois :

Les paysans ont très bien compris l'impact des digues et ont pu expliquer de manière détaillée les conséquences sur l'état du sol, l'augmentation de l'humidité, le ralentissement du ruissellement et le dépôt d'alluvions permettant une culture sans utilisation de fumier.

La preuve de leur bonne disposition vis à vis de la construction des digues réside dans le seul fait qu'ils aient commencé à installer des petites digues, sans l'aide du camion, après avoir jugé de leur efficacité sur d'autres sites. Jusqu'à présent, seul un nombre limité de familles a bénéficié des digues filtrantes dans le village.

La construction des digues a été effectuée dans le cadre d'un travail collectif: on peut donc se poser des questions sur l'intérêt qu'ont à s'engager dans un travail qui demande un effort physique considérable, ceux qui n'en tirent aucun profit. La réponse est toujours la même: personne ne se décourage avec l'espoir qu'un jour, tout le monde pourra profiter d'une digue filtrante. Un point important à souligner est l'efficacité presque immédiate des digues. Dès la première récolte, le rendement sera plus élevé et le résultat des efforts visibles contrairement à tant d'autres projets de développement à participation villageoise, notamment les barrages, dont l'impact survient à plus long terme. Ceci est sans aucun doute un stimulant très important non seulement par rapport à la construction de digues filtrantes mais aussi par rapport à d'autres projets.

Les digues filtrantes, en tant que projet de développement à participation villageoise, favorisent la réussite d'une expérience collective, entraînant de ce fait une adhésion à de futurs projets à participation villageoise de plus grande envergure.

D'autres expériences de projets à participation villageoise ont déjà amplement prouvé que la phase initiale d'organisation sociale est essentielle et déterminante. Dès les premières expériences positives, les paysans acquièrent une confiance dans leurs propres capacités et leur intérêt à l'égard d'autres projets s'accroît intensément. Du fait que les digues se construisent perpendiculairement aux thalwegs, sans tenir compte des limites des parcelles ou des pistes qui traversent les champs, on pourrait s'attendre à des problèmes. Pourtant les villageois affirment que ni les parcelles divisées, ni le passage de piste ne sont sources de conflit. Les connaissances techniques nécessaires à la construction des digues sont assez simples et facilement compréhensibles même par des gens sans aucune formation technique. Il s'agit en fait d'une technologie réellement appropriée. L'entretien en est également facile et ne demande ni outil sophistiqué ni aide extérieure.

1.3. Présentation technique des digues filtrantes :

1.3.1. Principe et fonctionnement :

Les digues filtrantes sont constituées uniquement de pierres ou de blocs de latérite que les villageois rassemblent en brousse. Elles sont construites en succession,

perpendiculairement aux thalwegs comme le seraient des petits barrages, et sont situées sur des passages d'eau intermittents tels que les marigots ou les koris, qui ne coulent que quelques heures après chaque pluie. Le principe de ces successions de digues filtrantes est basé sur le ralentissement des eaux de pluie par filtration à travers les pierres, ce qui entraîne la formation d'une retenue d'eau s'étalant sur des grandes surfaces en amont des ouvrages. Le temps de vidange de la retenue, est fonction du volume d'eau et de la capacité de filtration de la digue, mais les terrains amont resteront inondés pendant une période plus longue qu'avant la construction de la digue filtrante. La modification de l'hydrogramme de crue provient de l'effet de laminage de chacune des retenues d'eau, qui peuvent avoir une capacité de quelques milliers de mètres cubes. Il est également préférable de commencer les aménagements le plus en amont possible du bassin versant pour permettre un écrêtage des crues dès la formation d'écoulements importants. Il s'agit donc de favoriser au maximum l'étalement de l'eau. La filtration et le ralentissement de l'eau entraînent de nombreux effets bénéfiques:

- Tout d'abord un dépôt d'alluvions et de matières organiques, qui permettent une fertilisation importante des sols. L'effet anti-érosif est quelquefois spectaculaire, car des ravines profondes peuvent être comblées en une seule année.

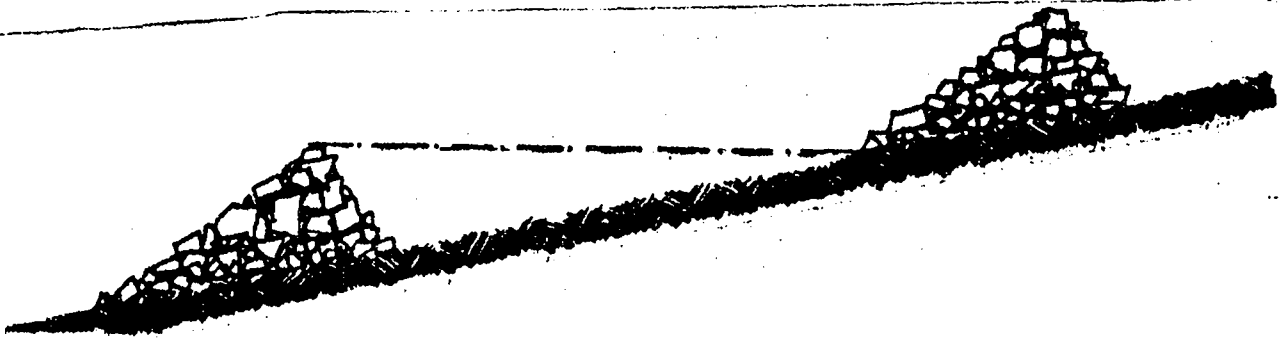
De nombreux terrains abandonnés à cause de l'érosion, ont pu être remis en culture et permettre en quelques saisons des rendements supérieurs aux autres parcelles du village. Progressivement, les digues filtrantes favorisent la création de successions de terrasses particulièrement fertiles.

- Ensuite une inondation temporaire des cultures, qui entraîne une augmentation des rendements et dans certains cas la possibilité de cultiver du riz sur des terrains qui ne le permettaient pas ou qui du fait de la baisse de la pluviométrie ne le permettaient plus.

- Enfin une meilleure infiltration des eaux pluviales, du fait des temps de submersion plus importants, qui permet une augmentation de la rétention en eau du sol et une réalimentation de la nappe phréatique.

1.3.2. - Caractéristiques techniques.

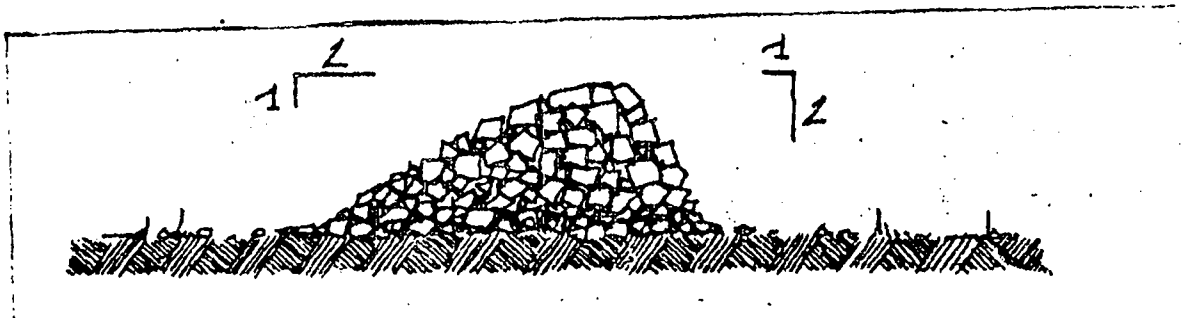
Les digues filtrantes sont espacées les unes des autres de manière à inonder un maximum de terrain. Généralement, le pied de la digue amont est au même niveau que le sommet de la digue aval. L'espacement entre les digues est donc variable suivant la pente du thalweg et la hauteur des digues, il est habituellement compris entre 100 et 1.000 mètres.



Les digues filtrantes, du fait de leur constitution en pierres libres, supportent assez mal les déversements importants, il est donc indispensable de déterminer leurs dimensions (hauteur, longueur, surface de filtration) en fonction des débits de crue. Actuellement, dans l'attente d'une étude sur le fonctionnement hydraulique des digues filtrantes, qui nous permettra d'acquérir des éléments de conception et une méthode de dimensionnement, nous calculons les dimensions des ouvrages à partir du débit de la crue décennale du bassin versant et nous déterminons la longueur de la digue par comparaison à la longueur d'un déversoir en pierres calculé pour assurer une lame déversante inférieure à 25 cm.

Nous établissons l'hypothèse que les 15 premiers centimètres de cette lame d'eau sur déversoir seront filtrés à travers les pierres dans le cas d'une digue filtrante et qu'elle est en mesure de supporter le déversement des 10 derniers centimètres. Nous avons vérifié de nombreuses fois qu'un déversement de 10 cm ne risque pas d'emporter une digue à condition que la crête soit parfaitement horizontale, que le sommet et le parement aval soient recouverts de pierres ou de blocs de latérite suffisamment lourds (10 à 20 kg) et que les pentes amont et aval soient respectées.

La pente amont devant seulement permettre la stabilité des pierres, elle peut être de 2/1 ($V : 2/H : 1$). Par contre la pente aval doit éviter que l'eau n'arrache des pierres et que l'épaisseur de filtration ne soit trop faible, elle devra être au moins de 1/2 ($V : 1/H : 2$).



La première des digues filtrantes (sise le plus en amont) est souvent la plus sollicitée. Ces dimensions sont donc généralement plus importantes que les suivantes ; elles peuvent atteindre une hauteur de 3 m avec une longueur pouvant dépasser

300 m. Dans le cas où malgré sa longueur elle risquerait de déverser de manière important, la crête de la digue peut être renforcée par une chaîne de petits gabions (0,5 x 0,3 x 2 m), ce qui évitera que les pierres constituant le sommet ne soient emportées et favorisera le maintien de l'horizontalité de la crête.



Les digues aval seront fréquemment plus petites (0,80 à 1,50 m de hauteur) car elles ont un moindre effort à fournir, et il est généralement préférable de construire plusieurs petites digues plutôt qu'une grande, compte tenu des quantités de pierres nécessaires, de l'effet de filtration et des surfaces inondées. Les digues filtrantes situées dans les thalwegs collinaires jouent un rôle anti-érosif très important. Les premières années de fonctionnement, une grand quantité d'alluvions se dépose en amont des digues. Il est donc souvent nécessaire de les réhausser pour conserver leur capacité de filtration et éviter les déversements trop importants qui risqueraient de les emporter.

SCHEMA DES DIGUES FILTRANTES

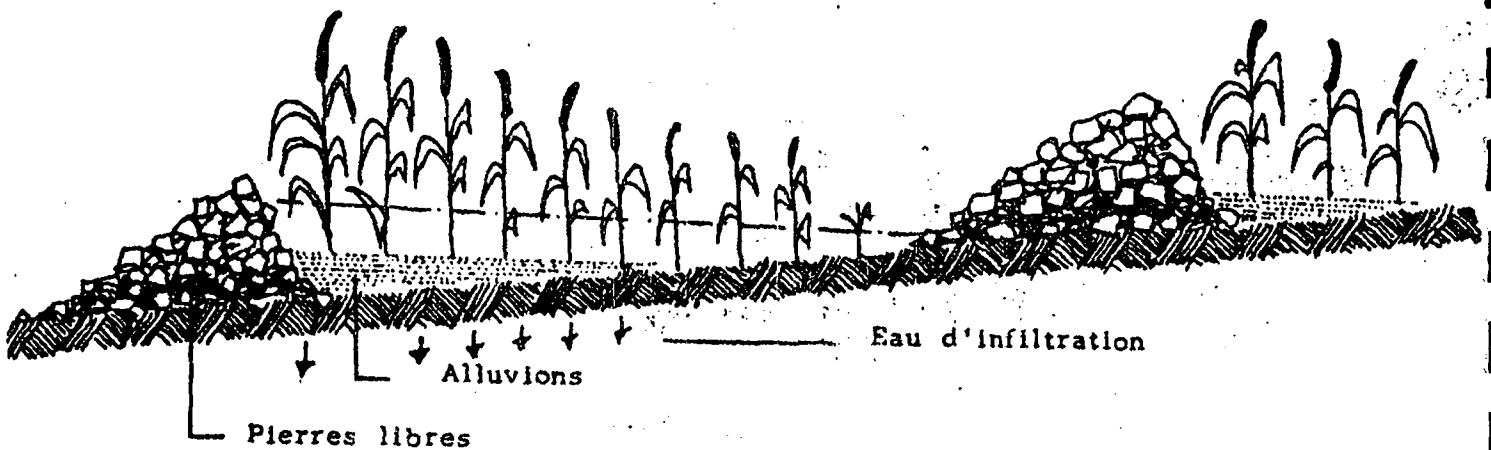


Schéma de digues filtrantes

1.3.3. Inventaire des réalisations (80-86)

Villages	Nb de digues filtrantes construites							Total
	80	81	82	83	84	85	86 prévues	
Rissiam	1		3	5	7	4	(5)	20
Niéniéga-Foulbé								0
Niéniéga								0
Sankondé			3	13	9	11	(5)	36
Nané				4	4	2	(3)	10
Gonsé					2	4	(3)	6
Baollé								0
Badionogo								0
Nongou				2		2		4
Sargo								0
Mogodé				0	8	6	(4)	20
Ronguen					2	5		7
Sorgo								0
TOTAUX	1	0	6	30	32	34		103

- Digues filtrantes construites de 1980 à 1985 : 103

En 1980 les terrains amont de la première digue filtrante n'ont pas été cultivés. La récolte de 1981 a donc été la première démonstration du fonctionnement agricole des digues filtrantes. Il a suffi d'une autre récolte pour provoquer une demande de ces aménagements dans de nombreux villages.

1.3.4. Comportement des digues filtrantes :

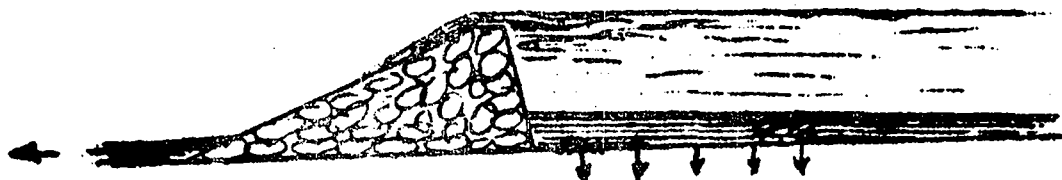
Une inspection des 103 digues filtrantes, qui ont déjà fonctionné au moins pendant une saison des pluies, nous a permis de vérifier leur comportement. Les différentes digues que nous avons observées nous permettent de définir quatre types de comportements :

- a) fonctionnement normal
- b) comblement
- c) affaissement
- d) rupture

a) Fonctionnement normal :

La plupart des digues filtrantes ne subissent pas de détérioration importante. Seules quelques pierres se déplacent mais l'horizontalité et le profil des digues ne sont pas modifiés. La tendance à la formation d'une terrasse amont ne modifie généralement pas de manière sensible la capacité de filtration.

Ces digues filtrantes, qui assurent un fonctionnement normal même après plusieurs années, ne sont jamais situées dans la partie amont des aménagements. Elles sont généralement construites dans des zones au relief moins tourmenté, sur des petites plaines où la pente longitudinale du thalweg est assez faible (inférieure à 0,5 %).



b) Comblement :

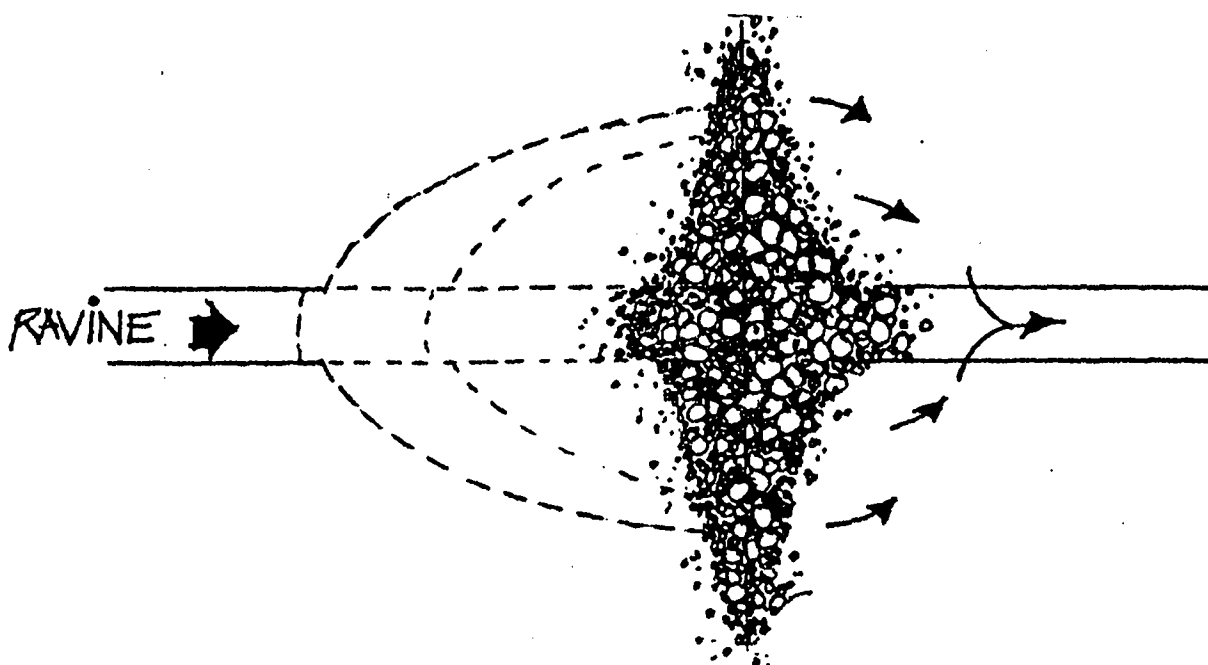
La digue filtrante implantée le plus en amont de l'aménagement, et surtout dans le cas de thalweg collinaire, se comble très rapidement de sable, de limon, d'herbes, de feuilles et de tiges de mil. Ce comblement peut atteindre des proportions importantes sur les sites très érosifs. En effet, il est possible de constater des dépôts de plus de 50 cm en une seule saison des pluies, ce qui diminue rapidement la surface de filtration de la digue. La formation d'une terrasse en amont est très intéressante au niveau agricole, mais elle peut conduire rapidement la digue filtrante à déverser de manière trop importante, ce qui entraînerait la rupture.

c) Affaissement :

Certaines digues filtrantes se sont affaissées de manière plus ou moins importante, ce qui a formé dans les digues des passages d'eau préférentiels conduisant quelques fois à la rupture des ouvrages.

Ces affaissements sont dus généralement à deux phénomènes : l'érosion aval et la formation d'un renard.

- L'érosion aval se forme lorsque l'eau, qui a filtré à travers la digue de chaque côté de la ravine, retombe dans celle-ci ; elle entraîne alors les parois de la ravine en formant une érosion régressive jusqu'à la digue filtrante. Lorsque l'érosion arrive au pied de l'ouvrage, le sol s'effondre et la digue s'affaisse.



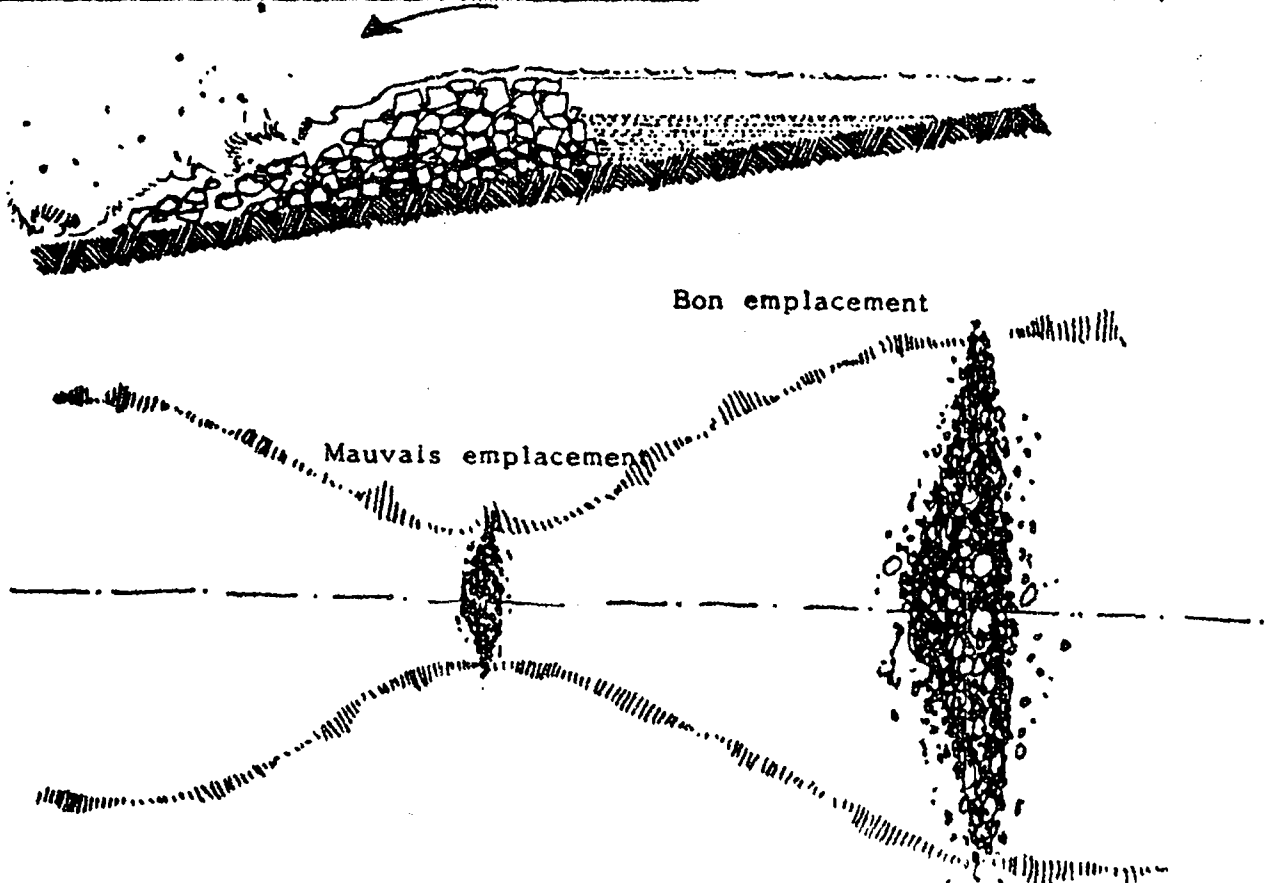
- La formation d'un renard entre la digue et le sol de fondation est due généralement à une charge hydraulique importante, conjuguée à un sol érosif (limono-sableux) et à un débit important de filtration dans la digue. Ce débit de filtration excessif est dû à une trop faible largeur de la digue en pied ou un calibrage des pierres trop important.

Dans ces conditions, l'eau traverse la digue à une vitesse élevée, ce qui forme rapidement un renard dans ce type de sol. Il s'en suit soit un léger affaissement si l'effondrement comble le renard, soit un affaissement beaucoup plus important si le sol de fondation est largement emporté.

d) Rupture

La rupture d'une digue filtrante peut être due à plusieurs phénomènes ; ils peuvent être classés en deux catégories : erreurs de conception et erreurs de construction.

- Les erreurs de conception concernent l'implantation des ouvrages et le dimensionnement. En effet, le site retenu peut être situé sur un passage d'eau beaucoup trop important, sur un resserrement ou sur un sol très érosif et comportant de profondes ravines. Le dimensionnement est parfois trop faible lorsqu'on a sous estimé les débits de crues ou que le comblement et le colmatage est très important du fait de la filtration d'eaux très chargées en éléments solides et en végétaux (herbes, feuilles, liges, de mil, et branches).



- Les erreurs de construction sont bien souvent un non respect du profil et du nivellement de la digue, ce qui entraîne une instabilité des pierres lorsque les pentes sont trop fortes et des passages d'eau préférentiels lorsque la mise à niveau de la digue n'a pas été rigoureusement respectée. Enfin, il est également indispensable d'utiliser des pierres aux dimensions adaptées. Les trop petites (moins de 10 kg) seront emportées si elles sont situées sur la crête ou le parement aval en cas de déversement ; il est donc préférable de les utiliser dans le corps de la digue. Les plus grosses par contre ne permettront pas d'obtenir un faible débit de filtration mais seront très utiles sur le sommet et l'aval de la digue filtrante. Signalons pour mémoire qu'en cas de rupture d'une digue filtrante les pierres emportées se trouvent dans un rayon de 30 m, ce qui facilite énormément la réparation par les villageois eux-mêmes.

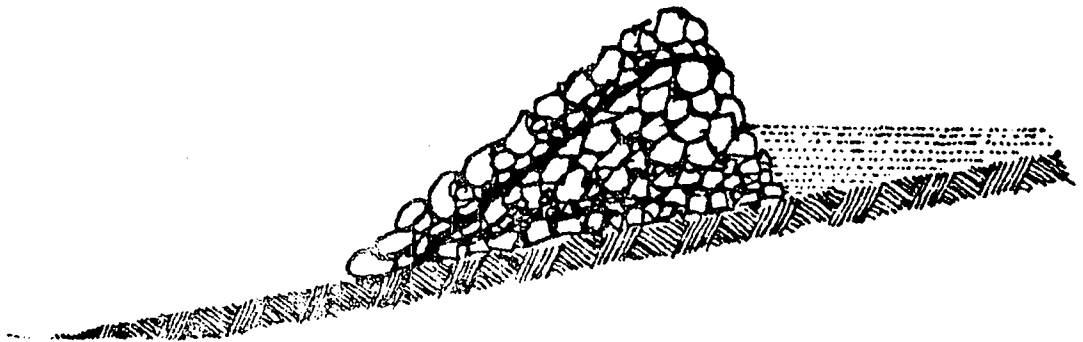
1.3.5. Modifications, adaptations et entretien :

1.3.5.1 Modifications :

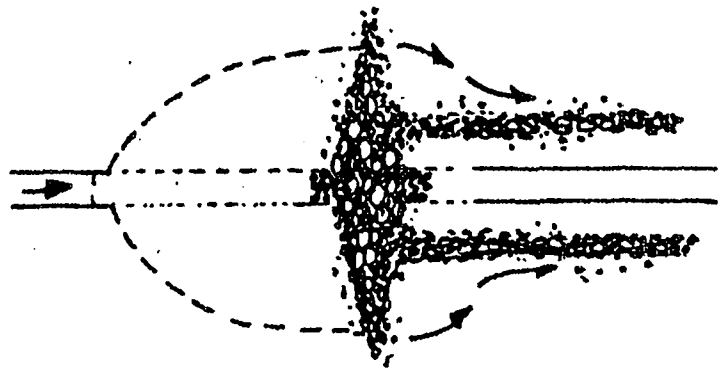
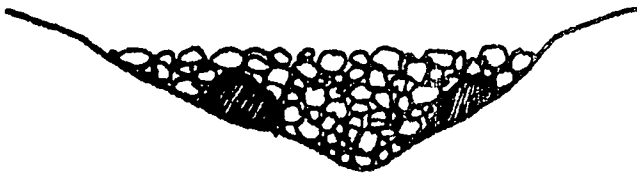
L'analyse du comportement des digues filtrantes permet de dégager des éléments techniques de conception, de dimensionnement et d'implantation. Ces modifications sont nécessaires à l'amélioration du fonctionnement et de la tenue des ouvrages.

a) Comblement : le comblement de la première digue sur les sites très érosifs peut être légèrement diminué en utilisant uniquement de grosses pierres pour sa construction. Les débits de filtration étant plus élevés, la sédimentation sera moins importante surtout pour les limons et les argiles.

Cette méthode est bien sûr au désavantage des digues aval, qui recueilleront les matériaux non arrêtés par la première digue. Il est donc préférable de prévoir un surdimensionnement au départ ou un réhaussement après une ou deux saisons de fonctionnement afin de conserver même avec un comblement important une surface de filtration évitant les déversements dangereux.



b) Affaissement : l'affaissement dû à l'érosion aval peut être évité en construisant au pied de la digue filtrante des petites digues d'épandage. Celles-ci doivent être implantées parallèlement au thalweg pour éviter un resserrement trop rapide des eaux filtrées.

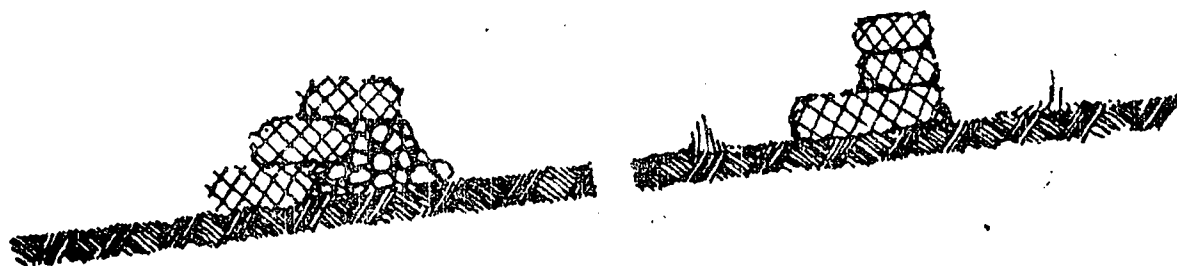


Dans le cas de l'affaissement dû à la formation d'un renard, il est indispensable de réduire la vitesse de l'eau à travers le pied de la digue. Dans le cas de charge hydraulique importante,

on peut augmenter l'épaisseur de filtration, utiliser dans le corps de la digue des pierres de petites dimensions ou de préférence, déposer une couche de gravier sur le talus amont de la digue filtrante afin de diminuer fortement la filtration de celle-ci.

c) Rupture : pour éviter la rupture d'une digue, si celle-ci n'est pas due aux deux précédents phénomènes, il est indispensable de choisir les implantations en évitant les resserrments de vallée, les sites érodés dans des proportions nécessitant une autre technique et les passages d'eau trop important. En attendant d'avoir les résultats de l'étude hydraulique sur les digues filtrantes, qui nous permettra d'acquérir une méthode de dimensionnement plus précise, nous pourrons toujours calculer la longueur nécessaire de digue en la comparant à un déversoir en pierres qui n'accepterait pas une lame d'eau supérieure à 25 cm (la formule de débit d'un déversoir donne $L = 5,2 \times Q$ avec L = longueur de la digue filtrante et Q = débit de crue de projet).

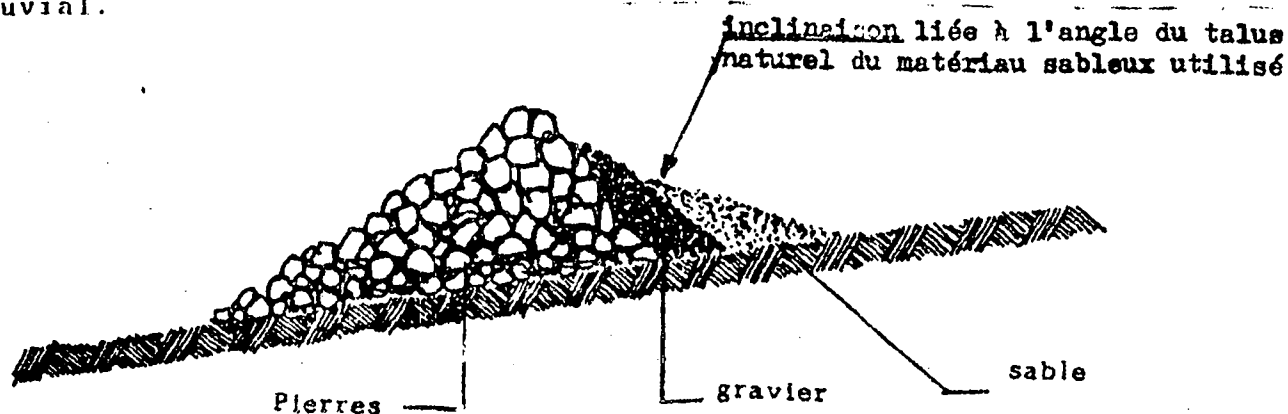
S'il est indispensable de réaliser une digue filtrante malgré un débit de crue important, celle-ci pourra être renforcée par une chaîne de petits gabions (0,5 x 0,3 x 2 m) en crête, ce qui lui permettra de supporter un déversement supérieur ($L = 3 \times Q$ pour une hauteur de déversement de l'ordre de 35 cm). Il peut être envisagé également de réaliser la totalité de la digue en gabions ; elle pourra alors évacuer de plus forts débits de crue, mais dans ces conditions le coût de l'aménagement devient beaucoup plus important.



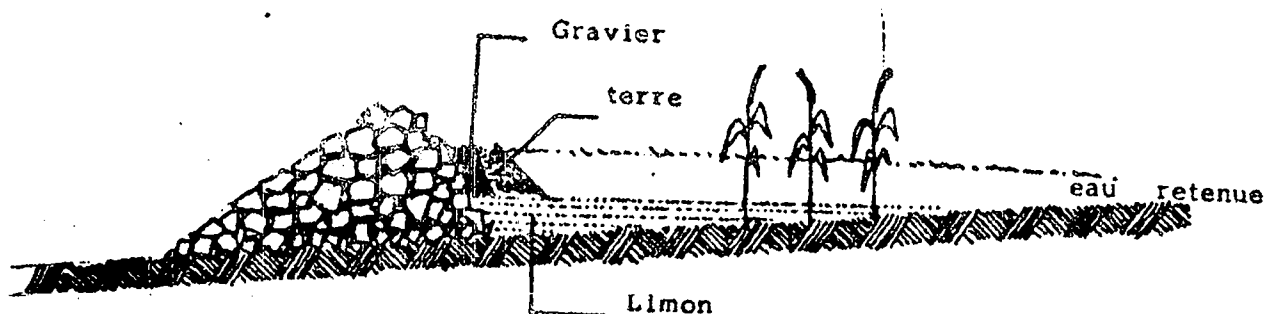
La rupture d'une digue pouvant être due simplement à une mauvaise construction ; il est indispensable de respecter le profil de la digue (voir croquis page I. 13), le dimensionnement prévu à l'étude, la mise à niveau de la crête et le choix des pierres.

1.3.5.2 Adaptations :

Certaines digues filtrantes peuvent être adaptées aux différents types de cultures pratiquées à l'amont. En effet, il est envisageable de faire varier le débit de filtration et par conséquent le temps d'inondation des cultures. Ceci est possible en choisissant la taille des pierres du corps de la digue ou en recouvrant une partie du parement amont de gravier ou de petites pierres. Le sorgho cultivé en amont des digues à faible débit de filtration pourra alors être remplacé par une variété de riz pluvial.



Il est également envisageable d'étanchéifier la partie basse de la digue filtrante et ceci de préférence après la formation d'une terrasse importante, afin de conserver une petite hauteur d'eau qui permettra de cultiver certaines variétés de riz irrigué. La digue deviendra alors "semi-filtrante".



1.3.5.3. Entretien :

Les digues filtrantes constituent des ouvrages simples, réalisables par les paysans eux-mêmes. Il convient d'attirer l'attention de ceux-ci sur la nécessité impérieuse d'un entretien "périodique" des ouvrages (après chaque hivernage ou après le passage de crues importantes). L'entretien ne doit pas être assimilé à une réparation ; c'est un travail de prévention contre des dégradations éventuelles ultérieures (dégradations qui peuvent conduire à la rupture des ouvrages et à la perte des récoltes).

1.3.6. Perspectives :

A la suite de la demande du groupement de treize villages de la région de RISSIAM, nous avons défini un programme intensif de digues filtrantes dans cette région. Il s'agira de réaliser 400 digues filtrantes en 2 années, ce qui devrait permettre d'aménager environ 400 hectares de cultures. Un Volontaire du Progrès sera chargé de former un animateur pour qu'il puisse le remplacer après son départ dans le suivi du projet. Quelques personnes par village seront spécialement formées pour être en mesure d'encadrer les travaux et d'assurer l'entretien des ouvrages.

La technique des digues filtrantes étant particulièrement intéressante dans les zones où l'érosion a déjà diminué de manière importante le potentiel agricole des villages. Nous cherchons depuis quelques mois à vulgariser cette technique dans les provinces du YATENGA, du BAM et du SOUROU. Nous expérimentons également dans la province du MOUHOUN des digues filtrantes qui sont plus particulièrement à vocation rizicole.

L'amortissement très rapide de ces aménagements devrait permettre d'envisager une prise en charge de la construction par les villageois eux-mêmes, soit sous la forme de crédits agricoles, soit sous la forme de remboursement en nature à partir des augmentations de rendement des parcelles aménagées.

1.4. Utilisation agricole des digues filtrantes.

1.4.1. Impact sur la production agricole :

1.4.1.1. Fertilisation des sols :

Le dépôt de limons et de matières organiques en amont des digues filtrantes fertilise le sol. Ce dépôt se fait sur toute la surface inondée. Tous les matériaux en suspension se déposent lorsque l'eau libère le sol. L'humidité importante, favorise la décomposition de la matière organique, qui se transforme rapidement en humus. Les bienfaits de l'humus, surtout sur des sols dégradés ne sont plus à démontrer. Ce sont :

- augmentation de la capacité de rétention en eau du sol
- amélioration de la structure du sol
- enrichissement du sol en oligo-éléments
- meilleure fixation des éléments solubles et libération des éléments bloqués
- une augmentation de la résistance des plantes aux maladies et aux attaques parasitaires.

Les paysans eux-mêmes, disent qu'il n'y a plus besoin d'apporter de fumier, et que l'utilisation d'engrais n'est plus nécessaire. Les digues filtrantes permettraient donc la fertilisation naturelle des sols.

1.4.1.2. Amélioration des rendements :

Il faut noter que plus de la moitié des sites aménagés étaient auparavant abandonnés, et qu'ils viennent d'être remis en culture. Il s'agit des sites des villages de Sankondé et Nané pour lesquels les rendements sont d'autant plus élevés que la digue est ancienne.

- digues construites en 1983 et 1984 : rendements 6,5 qx/HA
- digues construites en 1985 : rendements 4,5 qx/ha.

Pour les autres sites aménagés ; ceux des villages de Rissiam et Nongou, les rendements ont été de 7,2 qx/ha en moyenne en 1985, alors qu'ils étaient de 2,5 qx seulement les années précédentes ; soit une augmentation de près du triple de la production. Ces rendements n'ont pas été "mesurés", mais estimés à partir du nombre de charrettes récoltées. Les chiffres semblent révélateurs, mais une étude plus précise s'impose.

1.4.2. Problèmes rencontrés et contraintes :

1.4.2.1. Divagation des animaux :

En amont des digues filtrantes, il est indispensable de semer dès les premières pluies (début mai pour la région de Rissiam) pour éviter une trop grande submersion des jeunes plants, et pour que la plante soit déjà bien développée au moment des grandes pluies.

Ce semis précoce, oblige les paysans à protéger les cultures contre les animaux, et cela pendant deux mois (les jeunes plants de mil bien verts sont très attrayants pour les animaux).

Lorsque la région entière sera traitée par les digues filtrantes, il serait souhaitable que les paysans s'organisent pour garder leurs troupeaux durant ces deux mois, comme ils ont l'habitude de le faire durant l'hivernage. C'est sans doute plus simple de garder le bétail, que les cultures.

1.4.2.2. Submersion de cultures :

La submersion importante des terres en amont de la digue filtrante peut empêcher la culture dans la zone la plus humide. Dans ce cas, seules les bordures restent exploitables.

On a pu remarquer un jaunissement des plants après une trop longue submersion qui a entraîné un ralentissement du développement, et parfois un dépérissement allant jusqu'à la mort.

1.4.2.3. Verse des cultures :

Après une forte pluie, le courant d'eau peut coucher certains plants, qui ont beaucoup de mal à se redresser par la suite, ce qui entraîne, des cassures, et des retards de végétation.

1.4.2.4. Maturité prolongée :

Le sol étant humide plus longtemps, en amont des digues filtrantes, le cycle végétatif des plantes est plus long, et la maturité retardée. Ceci a l'avantage bien sûr de permettre de hauts rendements, par contre, une fois de plus, les paysans devront lutter contre la pénétration des animaux sur leurs parcelles (bétail, oiseaux, singes).

1.4.3. Modification du système cultural :

1.4.3.1. Introduction de la culture attelée :

Jusqu'à présent, la culture attelée est très peu utilisée dans la région de Rissiam. Vu l'incertitude des rendements et donc des possibilités de remboursement des crédits, les paysans n'avaient en effet pas les moyens d'investir dans l'achat d'équipement tel que charrue, houe, etc...

Par contre avec l'introduction des digues filtrantes, assurant une récolte correcte et mettant donc le remboursement des crédits, il serait intéressant de promouvoir la culture attelée et ceci pour de nombreuses raisons :

- Elle permet l'enfouissement superficiel des matières organiques qui enrichiront le sol en profondeur, et amélioreront sa structure.

- Elle permet le semi en ligne et donc un contrôle de la quantité de semences à mettre en place sur une ligne et favorise une bonne répartition des plants à la levée

- Elle permet le sarclage mécanique ce qui est souhaitable, dans la mesure où d'une part le laps de temps entre deux pluies qui permet le travail du sol peut être très court, d'autre part parce que les mauvaises herbes se développent rapidement.

1.4.3.2. Utilisation de nouvelles variétés :

L'utilisation de nouvelles variétés, devrait permettre d'améliorer les rendements d'une façon plus conséquente. Le choix devrait s'orienter, vers des variétés à cycle long (plus haut potentiel de rendement) résistantes à la submersion temporaire et à la verse.

1.4.3.3. Diversification des cultures

En amont de certaines digues filtrantes, situées dans des bas-fonds humides il est préférable de cultiver du riz. Si l'inondation des sols est permanente, durant toute la saison des pluies, on pourra introduire la technique du repiquage.

1.4.3.4. Association des cultures : sorgho-riz.

Cette technique est déjà très utilisée par les paysans dans les bas fonds, et permet d'obtenir chaque année une bonne récolte de l'une ou l'autre des cultures. Dans un premier temps elle pourrait être conseillée en amont des digues filtrantes situées dans les bas fonds, là où on hésite entre semer du sorgho ou du riz.

1.5. Conclusion.

Nous avons pu constater dans tous les villages une très bonne compréhension du fonctionnement et de l'efficacité des digues filtrantes. Les villageois montrent clairement la volonté de construire de tels ouvrages ; ils ont d'ailleurs commencé avec leurs propres moyens à construire de nombreuses petites digues. Malgré quelques différences entre les villages, il existe une réelle capacité d'organisation sur laquelle un projet pourra s'appuyer pour mener à bien les différentes activités. L'effet des digues filtrantes au niveau anti-érosif et au niveau de l'augmentation des rendements des cultures est immédiat. La technique de construction et d'entretien des ouvrages est facilement assimilable par les villageois. Elle est également bien adaptée aux conditions et aux ressources locales, étant donné qu'elle utilise uniquement des matériaux locaux et des moyens mécaniques limités. Enfin, elle n'entraîne aucune charge récurrente ; seul un entretien périodique (main d'oeuvre locale) limité est à prendre en compte.

La construction de digues filtrantes par l'ensemble d'un village constitue une expérience de mobilisation et de travail en investissement humain, qui doit créer une dynamique villageoise et conduire à l'organisation d'autres projets de développement, que ce soit pour la promotion de l'agriculture ou l'amélioration des conditions de vie d'une manière générale.

La réalisation du programme intensif des digues filtrantes dans la région de Rissiam doit être accompagnée d'une étude hydraulique, agricole et socio-économique afin d'améliorer la maîtrise de la technique et de suivre l'évolution des villages.

2. - DEUXIEME PARTIE :

1ère ANNEE D'EXPERIMENTATION SUR LES DIGUES FILTRANTES
DE LA REGION DE RISSIAM : COMPTE RENDU.

par F.VISSCHER (UAW)
H.PIATON (CIEH)

2.1. INTRODUCTION :

2.1.1. Le milieu physique :

La zone étudiée se trouve à quelques km à l'ouest de la ville de KONGOUSSI. Elle concerne principalement les villages autour de RISSIAM (SANKONDE, NANE, GONSE, BADINOGO) mais pour certaines mesures , en particulier de ruissellement , on a été amené à s'intéresser à de petits bassins versants plus éloignés (PIROU , YOUNGOUNINI , TEMPORE , etc ...). Non loin de cette zone (quelques km à l'ouest) se trouvent le village et les bassins versants de TIKARE étudiés dans les années soixante par l'ORSTOM . La zone de RISSIAM , et une bonne partie des bassins versants un peu plus éloignés , font partie (à l'extrême sud) du bassin versant du lac de BAM , étudié par POUYAUD ("Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libres en climat tropical sec" -thèse de docteur d'Etat) de l'ORSTOM , à qui nous empruntons les éléments descriptifs qui suivent .

2.1.1.1. Géomorphologie :

La partie sud du bassin du lac de BAM est dominée au Sud-Sud-Ouest par une imposante barrière d'alignements de plateaux à cuirasse bauxitique d'altitude inférieure à 500m. La zone d'étude fait partie de cette barrière. Les pentes latérales importantes de ces reliefs en font la seule partie véritablement active du bassin alimentant le lac de BAM.

2.1.1.2. Géologie :

Ces reliefs sont constitués pour la plupart par des formations birrimiennes constituées d'une alternance de roches cristallophylliennes: schistes pélitiques et quartzites (série de Tourcoingbam) , recoupées par des formations intrusives ou effusives post tectoniques (roches vertes et syénites de Pouni). Il convient de noter l'extension panafricaine de cette phase d'orogénèse généralement nommée BIRRIMIENNE et caractérisée par cette alternance de roches éruptives et de sédiments métamorphisés.

2.1.1.3. Pédologie :

Les reliefs sont caractérisés , du haut vers le bas de la toposéquence , par :

- des roches birrimiennes (schistes ou roches éruptives) et cuirasses en affleurement .
- des sols minéraux bruts résultant directement de l'érosion, lithosols sur diverses formations: schistes argileux du Birrimien, matériaux gravillonnaires ou cuirasse ferrugineuse.
- des sols bruns eutrophes tropicaux sur matériaux argileux ou argilo-sableux issus des roches basiques et parfois hydromorphes.

De manière générale, ces sols sont particulièrement aptes au ruissellement: les sols hydromorphes de bas-fonds ou bruns eutrophes se révèlent pratiquement imperméables lorsque leurs fentes de retrait sont comblées. Les glacis de moyen versant présentent une aptitude marquée au ruissellement, sauf lorsque leur phase gravillonnaire ou graveleuse est importante. Par contre, les hauts de pente recèlent parfois des discontinuités correspondant à des zones d'infiltration préférentielle (effondrement de la cuirasse ou fissuration de la roche en place lorsque le terrain de couverture n'est pas suffisamment épais).

2.1.1.4. Végétation :

La savane parc à *Faidherbia* constitue le paysage végétal caractéristique de la plupart des vallées de régions à roches gneissiques et granitiques anciennes du faciès birrimien. Au *Faidherbia* sont associées diverses espèces dont le karité et le tamarinier. La végétation naturelle est très dégradée.

2.1.2. Les objectifs de l'étude :

Les aménagements par digues filtrantes réalisés dans la région de RISSIAM depuis 1980 ont donné des résultats encourageants qui ont conduit l'AFVP à envisager un programme de réalisation beaucoup plus ambitieux.

Au moment de s'engager dans cette voie, il semblait opportun de dégager les éléments techniques systématiques de conception et de dimensionnement de ces ouvrages réalisés jusqu'à présent de façon tout à fait empirique, et d'évaluer par des observations précises, leur impact sur la production agricole.

Par ailleurs, la rédaction d'un document permettant de diffuser cette expérience devrait permettre d'envisager, avec toutes les précautions liées aux caractéristiques particulières de la région, son éventuelle application dans d'autres sites de conditions physiques similaires (sous réserve, bien sûr, de conditions socio-économiques favorables).

2.1.3. Le contenu :

L'étude est prévue pour être réalisée sur deux saisons des pluies. Le présent document présente les résultats obtenus lors de la première saison étudiée, de juillet à novembre 1986. Les points essentiels concernent:

2.1.3.1. Le dimensionnement des digues :

Les mesures effectuées devraient contribuer à répondre à trois types de questions :

- étant donné un débit de crue calculé Q , quelle doit être la surface (donc la hauteur) de filtration d'une digue déterminée pour filtrer entièrement ce débit sans déverser?
- sur une digue existante, quel sera l'écoulement (filtration et/ou déversement) d'une crue de débit Q donné?
- quel est le coefficient de ruissellement des bassins versants de la région à prendre en compte pour calculer la crue de projet nécessaire au dimensionnement des digues filtrantes?

On a donc étudié :

- la détermination du débit de filtration et/ou déversement des digues en fonction de la charge à l'amont
- l'évaluation des coefficients de ruissellement sur des petits bassins versants de la région.

2.1.3.2. L'impact des digues filtrantes :

Il s'agit d'évaluer l'efficacité de ce type d'aménagement pour les cultures et la lutte contre l'érosion, ainsi que, le cas échéant, les possibilités de recharge d'une éventuelle nappe phréatique. Les mesures effectuées ont donc visé à :

- évaluer l'infiltration à l'amont des digues
- analyser les sols et les récoltes obtenues.

2.1.4. Les démarches adoptées :

Un certain nombre de sites ont été équipés d'aménagements et d'instruments de mesure. La nature des phénomènes observés et la faiblesse des moyens mis en oeuvre pour les étudier ne permettent de donner que des ordres de grandeur. Dans un premier temps, on s'est intéressé à des sites caractéristiques de la région de RISSIAM : ce sont des sites de type collinaire pour la plupart,

sur des bassins versants de petites tailles et de pentes généralement fortes, donc thalwegs en général bien marqués et souvent entamés par des ravines d'érosion.

Il est prévu, pour la deuxième année de mesures, d'équiper des sites situés en zones de bas-fond, sur des bassins versants plus étendus et à plus faibles pentes, dans des thalwegs plus larges et moins marqués, de façon à pouvoir comparer les résultats obtenus et indiquer les limites de leur extrapolation.

2.2. ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES DIGUES ET ELABORATION D'UNE METHODE DE DIMENSIONNEMENT :

2.2.1. Objectif de la mesure :

Il s'agit de mettre au point une méthode de dimensionnement des digues pour qu'elles fonctionnent sans déverser en fonction de la crue de projet calculée en déterminant la courbe de tarage de ce type d'ouvrage.

$$Q = f(H \text{ à l'amont}) \text{ ou } Q = f(\text{surface de filtration})$$

2.2.2. Méthode utilisée :

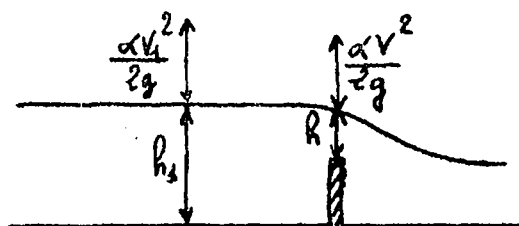
2.2.2.1. Principe :

Sur deux sites (à Sankondé et Nané) , on a mis en place :

- un seuil bétonné à l'aval de la digue équipé d'échelles et vers lequel est concentré le débit de filtration passant à travers la digue.
- une échelle limnimétrique à l'amont de la digue permettant de lier les valeurs trouvées à la hauteur d'eau à l'amont.

Le calcul du débit de filtration est obtenu de la manière suivante :

$$\text{En régime uniforme : } H = h_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = h + \frac{\alpha V^2}{2g}$$



$\alpha = 1$ dans le cas usuel et on néglige le terme $V_1^2 / 2g$

La vitesse V s'exprime alors de la façon suivante :

$$V = \sqrt{2g (h_1 - h)}$$

(Le V maximal obtenu est $V=1.33$ m/s , le V_1 correspondant serait $V_1=0.07$ m/s , ce qui justifie a posteriori l'approximation faite)

- où V (m/s) : vitesse moyenne du déversement sur le seuil
 hl (m) : hauteur d'eau mesurée sur l'échelle située
 quelques mètres à l'amont du seuil
 h (m) : hauteur d'eau mesurée sur le seuil

2.2.2.2. Matériel mis en place :

- Les caractéristiques des sites sont les suivantes :

- * Sankondé : .digue construite avant l'hivernage 1985
 .2ème digue d'une succession de quatre sur
 le même thalweg
 .bassin versant de 1.96 km² au relief
 accentué
- * Nané : .digue construite avant l'hivernage 1981
 .bassin versant de 0.79 km² constitué en
 majeure partie de terrains cultivés,
 dont quelques champs aménagés par
 d'autres digues

Le plan de situation des villages de Sankondé et Nané est
 fourni en annexe 1.2 .

- Les équipements mis en place sont :

- *Sankondé : .une échelle limnimétrique et un limnigraphe à l'amont
 de la digue
 .un seuil bétonné de 25 m en aval de la digue, où sont
 concentrées les eaux de filtration-déversement
 .une échelle à 1.75 m à l'amont du seuil
 .trois échelles sur le seuil
 .une échelle sur la crête de la digue en son point
 le plus bas afin de mesurer le débit des
 déversements
- * Nané : . une échelle limnimétrique à l'amont de la digue
 . un seuil bétonné de 7 m de long à l'aval, où sont
 concentrées les eaux de filtration-déversement
 . une échelle à 2 m à l'amont du seuil
 . deux échelles sur le seuil

En outre, deux pluviomètres ont été implantés sur chaque
 site :

- un à proximité de la digue
- l'autre en amont sur le bassin versant

- Limitation de la précision des mesures :

Le plan et le levé topographique des équipements figurent en
 annexe 1.1

Le peu de temps disponible pour la réalisation des équipements, le faible niveau de qualification de la main d'oeuvre employée et le manque d'outils de contrôle font que les seuils ne sont pas rigoureusement horizontaux. Pour effectuer les calculs de débit ils ont donc été divisés chacun en deux parties horizontales.

Les seuils ont été placés en contrebas de chaque digue dans le lit de la ravine préexistante à la digue, dans un endroit de convergence naturelle des eaux de filtration-déversement. Des murets de pierres sèches ont été confectionnés pour aider cette concentration lors des fortes crues. Ces murets n'étant pas étanches, les forts débits risquent d'être légèrement sous-estimés.

2.2.2.3. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés :

- Sankondé : les mesures ont commencé à la mi-juin. Un observateur a été chargé lors de chaque crue, de noter les hauteurs des différentes échelles. Les mesures étaient effectuées toutes les demi-heures dans un premier temps, puis tous les quarts d'heures.

L'observateur a eu quelques difficultés à effectuer ce travail exigeant en temps. Par ailleurs, il s'est avéré que la lecture d'une échelle dont la partie basse est submergée pose quelques problèmes. Une attention particulière doit être accordée à ces points.

Deux épisodes pluvieux et leurs crues conséquentes ont été suivis de manière particulière, avec encadrement de l'observateur : les différentes hauteurs ont été notées toutes les cinq minutes. Il s'agit des pluies du 2/09 et du 5/09/86.

- Nané : les mesures ont commencé à la mi-juin. En l'absence de limnigraphe, on n'a pu enregistrer les crues survenues pendant la nuit. Le même problème de lecture des échelles par un observateur non entraîné s'est posé.

De la même façon qu'à Sankondé, l'épisode pluvieux du 5/09/86 a été suivi de façon plus précise et encadrée.

Les résultats bruts des mesures des 2 et 5/09/86 à Sankondé et Nané figurent en annexe 1.3.

2.2.3. Résultats obtenus :

2.2.3.1. Sur l'ensemble de la période de mesures :

Les pluies tombées depuis la mi-juin sont présentées dans les tableaux 2.2.1.a.(Sankondé) page II-21 et 2.2.1.b. (Nané) page II-22. Le total des pluies tombées pendant la saison à KONGOUSSI est de 520 mm répartis sur 41 jours de pluie (détail en annexe 1.4.).

Chaque tableau donne, pour chaque pluie :

- la date
- l'heure de début (heures et minutes)
- l'heure de fin (heures et minutes)
- le total pluviométrique de l'épisode P(mm)
- l'intensité de la pluie I (mm/h)
- la hauteur maximale de l'eau sur l'échelle amont de la digue Hech-max (en cm)
- le débit de filtration correspondant Q filtr.max. (en m³/s) ou l'indication déversement s'il y a lieu.

- Sankondé : On trouve quelques valeurs des hauteurs maximales corrigées (hech max. cor.). En effet, au delà de 110 cm, le limnigraphe donnait une sous-évaluation de la hauteur, (le contrepois arrivait au niveau de l'eau). Une correction à la hausse de 4% a donc été appliquée aux valeurs supérieures à 110 cm.

On constate que les 399,5 mm tombés à Sankondé entre le 20/07 et le 25/09/86 ont été répartis en 29 pluies de 1 à 34 mm et dont l'intensité varie de 5 à 49 mm/h. Cinq d'entre elles ont donné lieu à un déversement (17%).

- Nané : Les 342 mm tombés à Nané entre le 22/07 et le 25/09/86 ont été répartis en 23 pluies de 1 à 32,5 mm dont l'intensité a varié entre 2 et 32 mm/h. Les observations sur l'échelle à l'amont de la digue n'ont pu être faites aussi régulièrement qu'à Sankondé. Cependant, il est tombé à Kongoussi, pendant la même période, 350 mm de pluie.

2.2.3.2. Calcul des débits pour des pluies particulières :

Pour évaluer le fonctionnement des digues de manière plus précise, on a choisi :

- à Sankondé - la deuxième pluie du 2/09
- la deuxième pluie du 5/09
- à Nané - la deuxième pluie du 5/09

pour lesquelles les observations ont été les plus complètes et les plus sûres.

Les figures, page II-20, 2.2.1.a. (Sankondé) et 2.2.1.b. (Nané) montrent l'évolution de la hauteur d'eau à l'amont de la digue et du seuil au cours du temps.

A Sankondé, la courbe de hauteur d'eau à l'amont de la digue est indiquée à partir des valeurs lues sur le limnigraphe et des valeurs corrigées Héch.cor.l.

Les graphiques obtenus par le limnigraphe pour toutes les pluies depuis le 24/07/86 ne sont pas présentés dans le présent document.

Les tableaux 2.2.2. (a1 et a2 pour Sankondé, b pour Nané) pages II-23 à 25, présentent les calculs du débit de filtration pendant les écoulements correspondants.

A Sankondé : -le seuil de longueur 24,34 m a été divisé en deux parties de longueur 12,17 m pour corriger sa non horizontalité (cf annexe 1.1)

-les hauteurs à l'échelle à l'amont du seuil (hl) sont corrigées :

- en rajoutant 0,015 m pour la partie gauche (hl + 0,015)
- en retranchant 0,035 m pour la partie droite (hl - 0,035).

A Nané : - le seuil de longueur 7,67 m a été divisé en deux parties :

- gauche : de longueur 3,83 m , pour laquelle la correction est de -0,015 m (hl - 0,015).
- droite : de longueur 3.84 m pour laquelle la correction est de +0.01 m (hl + 0.01)

Les autres variables sont :

- Héch (et Héch. cor 2 pour Sankondé) : hauteur de l'eau à l'amont de la digue (m)
- y : hauteur du déversement sur le seuil (m)
- V : vitesse moyenne sur le seuil (m/s)
- Vy: débit sur le seuil par mètre linéaire (m³/s par m soit m²/s)
- Qg, Qd: débits sur le seuil à gauche et à droite (m³/s)
- Q total : débit total sur le seuil, soit le débit de filtration (m³/s)
- V : volume filtré pendant cinq minutes (V=Qtotal*5 mn) (m³)

La figure 2.2.1.a. (Sankondé) montre qu'il y a un retard de deux minutes entre le maximum de Héch et le maximum de hl (temps de filtration à travers la digue et temps de remplissage en amont du seuil). Héch est corrigé pour tenir compte de cette constatation. (Héch cor 2).

2.2.3.3. Précision des résultats :

Le tableau 2.2.a.2 (Sankondé) page II-24, présente quelques mesures de jaugeage du seuil de Sankondé faites pour comparer les débits trouvés par deux méthodes, l'une calculée (méthode précitée), l'autre mesurée (moulinet). Les variables non encore expliquées sont :

- \bar{n} : nombre de tours du moulinet par seconde (moyenne de mesures différentes)

- \bar{V} : vitesse moyenne du déversement sur le seuil, calculée par la relation $V = 0,0028 + 0,2273 n$ (m/s) fournie par le constructeur du moulinet
- Q_g comp , Q_d comp : débits à gauche et à droite correspondants et comparés à Q_g et Q_d
- $\Delta Q/Q$ % : différence relative entre les deux résultats : $(Q - Q_{comp})/Q$

Les résultats sont cohérents pour la partie gauche, $\Delta Q/Q$ variant de -2.5 à +6 % dans la plage de variation de h_1 et sont moins probants pour la partie droite (de -8% à -37%), les valeurs absolues des débits étant plus faibles.

De manière générale, plus la hauteur d'eau sur le seuil baisse, plus la formule approchée donne des résultats inférieurs à ceux du jaugeage et inversement.

Compte tenu des faibles hauteurs d'eau observées sur le seuil, la précision des jaugeages n'est certainement pas bonne et d'autant moins bonne que la hauteur est faible.

Les résultats globaux montrent une différence relative variant entre -8.6% et +1.2% dans la plage 11 à 15 cm pour h_1 .

2.2.3.4. Amortissement d'une crue : première approximation

Les figures 2.2.2.a (Sankondé) et 2.2.2.b (Nané), page II-27 montrent la variation du débit de filtration Q_f en fonction du temps pour :

- la pluie du 2/09/86 à Sankondé
- la pluie du 5/09/86 à Nané

Un levé topographique des surfaces à l'amont de ces deux digues a été réalisé et est présenté en annexe 1.5. Il a permis d'établir la courbe hauteur-volume de la retenue créée par la digue de Sankondé (le relevé de Nané n'étant pas assez précis, la courbe hauteur-volume de cette digue n'a pas été calculée).

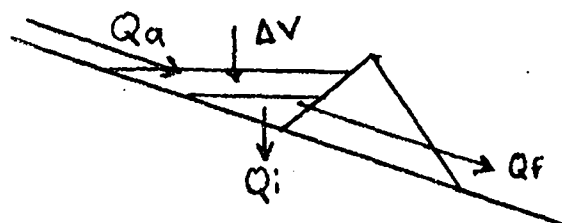
A partir de ces éléments, il est possible d'avoir une première approche de l'amortissement de la deuxième crue du 2/09 à Sankondé.

En effet, si :

- Q_a est le débit de filtration arrivant sur la digue
- Q_i : le débit d'infiltration à l'amont de la digue
- Q_f : le débit de filtration à travers la digue
- ΔV : la variation de volume stocké derrière la digue pendant l'intervalle de temps t

$$V/t = Q_a - (Q_i + Q_f)$$

d'où $Q_a - Q_i = \Delta V/\Delta t + Q_f$



Si on peut négliger Q_i , cette expression devient :

$$Q_a = \Delta V / \Delta t + Q_f$$

Ordre de grandeur de Q_i (Sankondé) :

Des analyses de sol ont été effectuées en différents endroits de la cuvette à l'amont de la digue de Sankondé seuil (voir le paragraphe sur l'impact agricole des digues dans la suite du rapport). La comparaison granulométrique moyenne des échantillons (prélevés sur 20 cm de profondeur) est la suivante :

Argiles	: 20.0 %
Limons	: 35.6 %
Sables	: 44.4 %

La texture moyenne est donc de type limono-argileux ou limono-argilo-sableux selon les classifications adoptées. Compte tenu de la teneur en argile et limons, on peut considérer ce type de sol comme moyennement perméable et prendre comme coefficient de perméabilité : $K = 5.10^{-5}$ m/s

Des mesures d'humidité faites tout au long de la saison sur d'autres sites proches (Gonsé, Nané, et en particulier à Sankondé sur une digue placée sur un marigot voisin) au moyen de tensiomètres montrent que, à cette époque, le sol est en permanence à un degré d'humidité proche de la capacité de rétention sur au moins 60 cm.

La vitesse d'infiltration à l'amont de la digue $V = K \cdot i$

où $i = H/L$

avec H : charge (hauteur d'eau dans et au dessus du sol)

L : hauteur de sol traversée par l'eau

est maximale quand la pente motrice est maximale :

- à la pointe de crue, la hauteur d'eau au dessus du sol au point le plus bas de la cuvette est de 141 cm pour la 2ème pluie du 2/09
- sur au moins 60 cm, le sol est proche de la saturation (observations sur les tensiomètres dans des sites similaires, et existence d'une première pluie le même jour)

On peut prendre comme pente motrice maximale :

$$i_{max} = 200/60 = 3.3$$

ce qui donne une vitesse d'infiltration maximale estimée :

$$V_{max} = 16.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

La surface maximale inondée par cette crue est d'environ 6690 m² (en utilisant la courbe hauteur-surface de la cuvette présentée en annexe 1.5)

L'ordre de grandeur du débit d'infiltration maximal estimé peut être considéré comme étant :

$$Q_i \text{ max} = 16.5 \cdot 10^{-6} * 6690 = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cette valeur est à rapprocher du débit de filtration maximal au même moment $Q_f \text{ max} = 3.07 \text{ m}^3/\text{s}$

On peut donc considérer comme justifiée, en première approximation, l'hypothèse selon laquelle on peut négliger le débit d'infiltration pendant la durée de la crue (erreur de l'ordre de 3.5 % dans ce cas).

-Ordre de grandeur de Q_a et de l'amortissement :

Tenant compte de ces hypothèses, on a reconstitué sur la figure 2.2.2.a, page II-27, pour la deuxième pluie du 2/09 et pour la digue de Sankondé, la courbe de variation du débit d'apport au cours du temps.

La superposition des courbes de variation de Q_a et de Q_f permet d'avoir une idée du laminage de la crue par la digue. La pointe de crue est ramenée de : $Q_a = 4.24 \text{ m}^3/\text{s}$ à $Q_f = 3.07 \text{ m}^3/\text{s}$ soit une diminution de près de 28 %

Conclusion :

Il est important de connaître l'influence de la digue amont sur le débit de crue arrivant sur la digue immédiatement à l'aval.

Des mesures de perméabilité à effectuer au cours de l'hivernage 1987 permettront de tester la validité de l'hypothèse selon laquelle le débit d'infiltration est négligeable devant le débit de filtration, et, si ce n'est pas le cas, de le calculer.

On pourra alors exploiter les graphiques fournis par le limnigraphe de la digue de Sankondé pour évaluer sur un nombre significatif d'exemples, l'influence de la digue sur la suivante.

2.2.3.5. Relations entre débit de filtration et caractéristiques géométriques d'une digue :

- Relation hauteur-débit de filtration :

Les résultats présentés ci-dessus permettent de construire les courbes mettant en relation la hauteur d'eau mesurée à l'amont de la digue et le débit de filtration de cette digue.

Ces courbes sont présentées sur les figures 2.2.3.a (Sankondé) et 2.2.3.b (Nané), page II-28.

On constate que la filtration ne commence que lorsque la hauteur d'eau mesurée à l'échelle en amont atteint une certaine valeur h_0 .

- Relation surface mouillée-débit de filtration :

Des levés topographiques ont permis de calculer la courbe donnant la surface de filtration en fonction de la hauteur d'eau à l'amont pour les digues de Sankondé et Nané. Ces courbes figurent en annexe 1.6 .

A l'aide de ces courbes et de celles donnant le débit de filtration en fonction de la hauteur d'eau, on a pu calculer les courbes reliant les variations de débit à celles de la surface de filtration. Ces courbes sont représentées sur les figures 2.2.4.a (Sankondé) et 2.2.4.b (Nané), page II-29.

On constate que, assez rapidement, le débit de filtration varie à peu près linéairement en fonction de la surface mouillée de la digue

2.2.3.6. Déversements :

On a vu que la digue de Sankondé a déversé plusieurs fois dans la saison. Le déversement occasionné par la pluie du 5/09 a permis de donner lieu aux observations suivantes :

- Calcul du coefficient de débit d'une digue filtrante :

Soit : h^x : hauteur de l'eau quelques mètres à l'amont de la digue
 y^x : hauteur de déversement sur la digue en fonction du temps

Le tableau 2.2.4, page II-30, montre le détail des calculs effectués pour obtenir le coefficient de débit : les variables utilisées sont les mêmes que précédemment.

La formule donnant la vitesse moyenne \bar{v} dans l'axe des mesures est:

$$\bar{v} = \sqrt{2g * (h^x - y^x)}$$

La formule donnant le débit déversé par mètre linéaire de digue (dans l'axe des mesures) est :

$$\bar{v}y^x = m\sqrt{2g} (h^x)^{3/2} \quad (\text{seuil épais sans contraction latérale})$$

où m est le coefficient de débit, calculé connaissant v_y^x et h^x

La digue commence à déverser lorsque la hauteur de l'eau à l'échelle atteint 1.355 m. Le déversement effectif s'arrête lorsque la hauteur de l'eau à l'échelle descend sous 1.40 m. Les valeurs concernant la décrue ont donc été corrigées pour tenir compte de cette observation (h_c , V_c , V_{cy} , mc).

Dans la plage de variation de y^x (de 0 à 12.5 cm) le coefficient de débit obtenu varie de 0.30 à 0.38 avec une valeur moyenne de 0.365 .

- Variations de débit de déversement en fonction de la hauteur d'eau à l'amont :

Le levé topographique du profil longitudinal de la digue figure en annexe 1.1.3 . On constate que la crête de la digue est loin d'être horizontale. Afin de calculer le débit déversé en fonction de la hauteur d'eau à l'amont, on assimile chaque mètre linéaire de digue à un seuil épais de manière à appliquer la formule :

$$Q_i = l_i * m * \sqrt{2g} h_i^{3/2}$$

Q_i : débit par mètre linéaire de digue
 l = l_i m : longueur du segment i de digue
 h : hauteur d'eau à l'amont du segment i

$$Q = \sum_i l_i * m * \sqrt{2g} h_i^{3/2}$$

On trouvera en annexe 1.7 le listing d'un programme permettant, étant donné le profil longitudinal de la crête de digue, de calculer le débit déversé en fonction de l'épaisseur de la lame déversante.

La figure 2.2.5, page II-31, montre la courbe de tarage obtenue de cette façon.

- Détermination du débit total écoulé : filtration + déversement

Etant données les variations de niveau de la crête, lorsque le niveau de l'eau à l'amont dépasse la cote de déversement, il y a à la fois déversement sur la partie basse de la digue et filtration sur les parties hautes .

1ère méthode : On peut tenter de calculer le débit total écoulé de la façon suivante :

- débit de filtration : $Q_f = Q_f(140) + \Delta Q_f$

$Q_f(140)$ = débit de filtration à la cote de déversement (3 m³/s)
 ΔQ_f : débit de filtration supplémentaire passant à travers
 ΔA_f : surface de filtration supplémentaire (fig. 2.2.4.a page II-29)

- débit de déversement Q_d : obtenu sur la courbe de tarage (fig 2.2.5, page II-31)

$Q_{f+d} = Q_{tc} = Q_f + Q_d$ Débit total écoulé calculé

Le tableau 2.2.5, page II-30 montre les résultats obtenus jusqu'à $H = 1.605$ m.

2ème méthode : Pour vérifier ces résultats, on a tenté de calculer le débit total écoulé à partir de mesures effectuées lors de la crue du 5/09 à Sankondé, pour laquelle ont été notées simultanément les hauteurs d'eau aux échelles :

- à l'amont de la digue
- à l'amont du seuil

lors du déversement.

La mesure de la hauteur d'eau à l'amont du seuil nous donne, après calcul du coefficient de débit du seuil, le débit total écoulé sur le seuil sensé représenter le débit total à travers et par dessus la digue.

Le tableau 2.2.6, page II-33, montre le calcul du coefficient de débit du seuil effectué à partir de la deuxième pluie du 2/9. On a retenu un coefficient de débit de 0.387 par extrapolation linéaire des résultats obtenus.

On a observé (voir plus haut) un décalage de deux minutes entre la pointe de la crue sur la digue et celle passant sur le seuil placé à l'aval. On a donc tenu compte de ce décalage pour calculer le débit total écoulé à partir des données qui figurent en annexe 1.3 (pluie du 5/09/86).

Le tableau 2.2.5, page II-32 et la figure 2.2.6, page II-31, montrent les résultats obtenus :

- par le calcul (1ère méthode) Q_{tc}
- par la "mesure" (2ème méthode) Q_{tm}

Ils sont très comparables ($\Delta Q/Q < 3\%$) jusqu'à 1.52 m, puis ils divergent de plus en plus. Une explication peut être que, à partir d'un certain débit écoulé, le dispositif mis en place pour faire converger toute l'eau passant par la digue ne suffit plus, et qu'une certaine partie du débit ne passe pas par le seuil.

2.2.4. Discussion - Conclusion :

2.2.4.1. Relation entre débit de filtration et caractéristiques géométriques d'une digue :

- Interprétation :

Les figures 2.2.3 (a et b), page II-28 et 2.2.4 (a et b), page II-29, font apparaître, à partir d'un certain débit minimum (de l'ordre de 0.54 m³/s à Sankondé et de 0.2 m³/s à Nané) une relation de type linéaire entre le débit de filtration exprimé en m³/s d'une part et :

- la hauteur d'eau à l'amont (exprimée en cm) $h = a_1 + b_1 Q_f$

$$h = 64.33 + 19.53 Q_f \text{ (Sankondé)}$$

$$h = 47.45 + 19.77 Q_f \text{ (Nané)}$$

-la surface de filtration offerte par la digue (exprimée en m²)

$$A_f = a_2 + b_2 Q_f$$

$$A_f = 5.53 + 11.27 Q_f \text{ (Sankondé)}$$

$$A_f = 12.06 + 11.20 Q_f \text{ (Nané)}$$

L'ordonnée à l'origine (a) des courbes expérimentales peut être considérée :

-comme la partie de la digue qui ne filtre plus à cause des dépôts solides accumulés au cours du temps

-comme liée au dispositif mis en place : l'espace entre la digue et le seuil se comporte comme un petit réservoir qu'il faut remplir avant que l'on puisse mesurer un débit sur le seuil.

Le colmatage est fonction de l'âge de la digue et de la configuration du terrain. Ainsi, il serait plus important à Nané (38 cm, digue construite en 1981) qu'à Sankondé (21 cm, digue construite en 1985). En utilisant les relations linéaires indiquées, on introduit une certaine marge de sécurité quant à ce colmatage.

En tout état de cause, pour le dimensionnement des digues, intervient la partie des courbes concernant les forts débits. On constate alors que les droites de régression obtenues, aussi bien pour la relation $H = f(Q_f)$ que la relation $A_f = f(Q_f)$, ont une pente (b) similaire à Nané et Sankondé.

- Pour les courbes $A_f = f(Q_f)$, le coefficient b représente la capacité de filtration de la digue, qui dépend des dimensions et de l'agencement des blocs qui la constituent. La similitude des coefficients pour Nané et Sankondé peut laisser penser que ces conditions de dimensions et d'agencement sont similaires sur les deux digues.

- La relation linéaire trouvée entre le débit de filtration et la surface indique que l'on peut, à une translation sur l'axe des hauteurs près superposer assez bien sur chaque digue la partie supérieure des courbes:

$A_f = f(h)$: hauteur - surface de filtration (cf annexe 1.7.)
et $Q_f = f(h)$: hauteur - débit de filtration, à raison de 10 m² de surface pour 1 m³/s de débit approximativement.

La similitude des coefficients b des courbes $h = f(Q_f)$ de Sankondé et Nané résulte donc de celle de leurs courbes hauteur-surface de filtration.

Par ailleurs, on constate que, pour les faibles débits la courbure des courbes $Q_f = f(h)$ est également relativement bien expliquée par la courbe hauteur-surface de filtration.

- Proposition d'une méthode de calcul :

Les observations qui précèdent conduisent à proposer une méthode de dimensionnement des digues basée sur la relation :

$$A_f = a + b Q_f$$

A_f : surface de filtration exprimée en m^2

Q_f : débit de crue de projet exprimé en m^3/s

Le coefficient b représente la surface de digue nécessaire pour filtrer $1 m^3/s$ de débit. Il dépend des dimensions et de l'agencement des blocs qui constituent la digue. On peut penser que, pour une petite région (type de matériaux) et un type de chantier donné (même projet), il est relativement constant (ce qui reste à vérifier). Ce coefficient est choisi en fonction des caractéristiques locales.

- Le coefficient a est la surface à l'origine de la droite. Il peut être considéré comme la somme de deux termes:

S_{a1} : rendant compte de la hauteur de colmatage au pied de la digue

S_{a2} : rendant compte de l'approximation liée au fait qu'on ne tient compte dans l'élaboration de la droite de régression que de la partie concernant les fortes valeurs.

Détermination de S_{a1} :

La hauteur de colmatage h_{al} dépend :

- de l'importance des dépôts solides apportés par les crues
- de l'âge de la digue

et doit être déterminée en fonction de ces deux paramètres principaux.

A partir de la courbe hauteur-surface de digue obtenue par levé topographique du profil en travers du site, on déduit

$$S_{a1} = f(h_{al})$$

Détermination de S_{a2} :

Sur la courbe hauteur-surface du site, on trace la droite de régression de la partie haute de la courbe. Le point d'intersection de cette droite avec l'axe des hauteurs donne h_{a2} .

La surface $S_{a2} = f(h_{a2})$ est obtenue par lecture directe de la courbe et l'on obtient :

$$a = S_{a1} + S_{a2}$$

- Conclusions- recommandations :

Il est délicat de faire des extrapolations à partir d'un nombre si restreint d'observations. Cependant, il paraît difficile de multiplier les installations (seuils en béton + échelles) qui ont été nécessaires pour obtenir ces résultats.

Les deux sites étudiés jusqu'à présent se trouvent en zone collinaire. Pour ce type de site, il faudrait :

- caractériser les dimensions et le mode de construction des digues qui ont permis d'obtenir le coefficient $b = 11$ (m^2 par m^3/s) afin de pouvoir en estimer l'extrapolation

- quantifier l'influence des facteurs de variations de la hauteur de colmatage hal :

- importance des dépôts solides
- âge de la digue.

Enfin, il conviendrait de tester cette relation sur un site de bas-fond (bassin versant plus grand et pentes plus faibles, topographie du site différente, matériaux de construction et de dépôts éventuellement différents).

2.2.4.2. L'influence d'une digue sur l'amortissement des crues.

Il est important de connaître l'influence d'une digue sur le débit de crue arrivant sur la digue immédiatement à l'aval afin d'adapter le dimensionnement des digues successives (dans le cas de constructions successives de l'amont vers l'aval). Les résultats obtenus à Sankondé sur un seul épisode de crue montrent que la pointe de crue dans ce cas a été diminuée de 28% par la digue.

Ce résultat a été obtenu au prix de l'hypothèse selon laquelle le débit d'infiltration à l'amont de la digue pendant les quelques heures de crue est négligeable devant le débit filtré par la digue. Il s'agira donc, dans la phase ultérieure de l'étude, de vérifier ou infirmer cette hypothèse en procédant à des mesures de perméabilité qui permettront de calculer ce débit d'infiltration.

Une fois cette vérification faite, il sera possible d'exploiter les graphiques tracés par le limnigraphe à l'amont de la digue pour évaluer cette influence en fonction du débit d'apport sur un plus grand nombre d'exemples : chaque point échantillonné sur la courbe du limnigraphe permettra :

- le calcul du débit de filtration en utilisant la relation $Q_f = f(n)$ établie pour cette digue;
- le calcul de la variation de volume d'eau retenu par la digue en utilisant la courbe hauteur-volume présentée en annexe 1.5
- le calcul éventuel du débit d'infiltration en fonction de la charge et de la surface inondée à l'amont de la digue

et donc d'obtenir le débit d'apport.

2.2.4.3. Les déversements.

Les méthodes de dimensionnement étudiées ci-dessus ont pour but de concevoir des digues pour lesquelles les déversements seront limités au maximum.

Cela dit, le caractère aléatoire des crues ne permet pas de garantir que la crue de projet, pour laquelle a été calculée une digue, ne sera pas dépassée. Deux recommandations peuvent donc être formulées pour l'évaluation des déversements:

1 - afin d'évaluer le dimensionnement des digues existantes, on pourra sur un plus grand nombre des digues de la région:

- installer une échelle à décoloration (enduite de chaux par exemple) qui indiquera le niveau maximum (de filtration ou de déversement) atteint par la crue, ainsi qu'un pluviomètre

- faire relever, par un villageois habitant à proximité, pour chaque pluie :

- la date, l'heure de début, l'heure de fin de la pluie
- la quantité d'eau tombée
- la hauteur décolorée sur l'échelle

Ce dispositif devrait permettre :

- d'évaluer la fréquence des déversements

- de calculer :

- soit un coefficient de ruissellement à partir du débit obtenu par la formule $S = a Q + b$ et de le comparer avec les résultats obtenus par ailleurs.
- soit de valider les coefficients a et b à partir d'une estimation du débit de crue (coefficient de ruissellement et hydrogramme type) et un levé topographique.

2 - On pourra essayer de déterminer la hauteur de déversement maximale et donc le débit correspondant tolérable du point de vue de l'arrachement des blocs en testant une formule du type de celle d'IZBASH, donnée en général pour la détermination du diamètre des enrochements de protection contre les affouillements en rivière au niveau des piles de ponts.

$$V_{max} = 0.6 \sqrt{2g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \Delta}$$

- V_{max} : vitesse de l'écoulement en crue (m/s)
 g : accélération de la pesanteur
 ρ_s : masse volumique de l'enrochement (kg/m³)
 ρ : masse volumique de l'eau (kg/m³)
 Δ : diamètre de l'enrochement (m)

FIGURE 2.2.1.a : SANKONDE (2-9/2ème pluie)

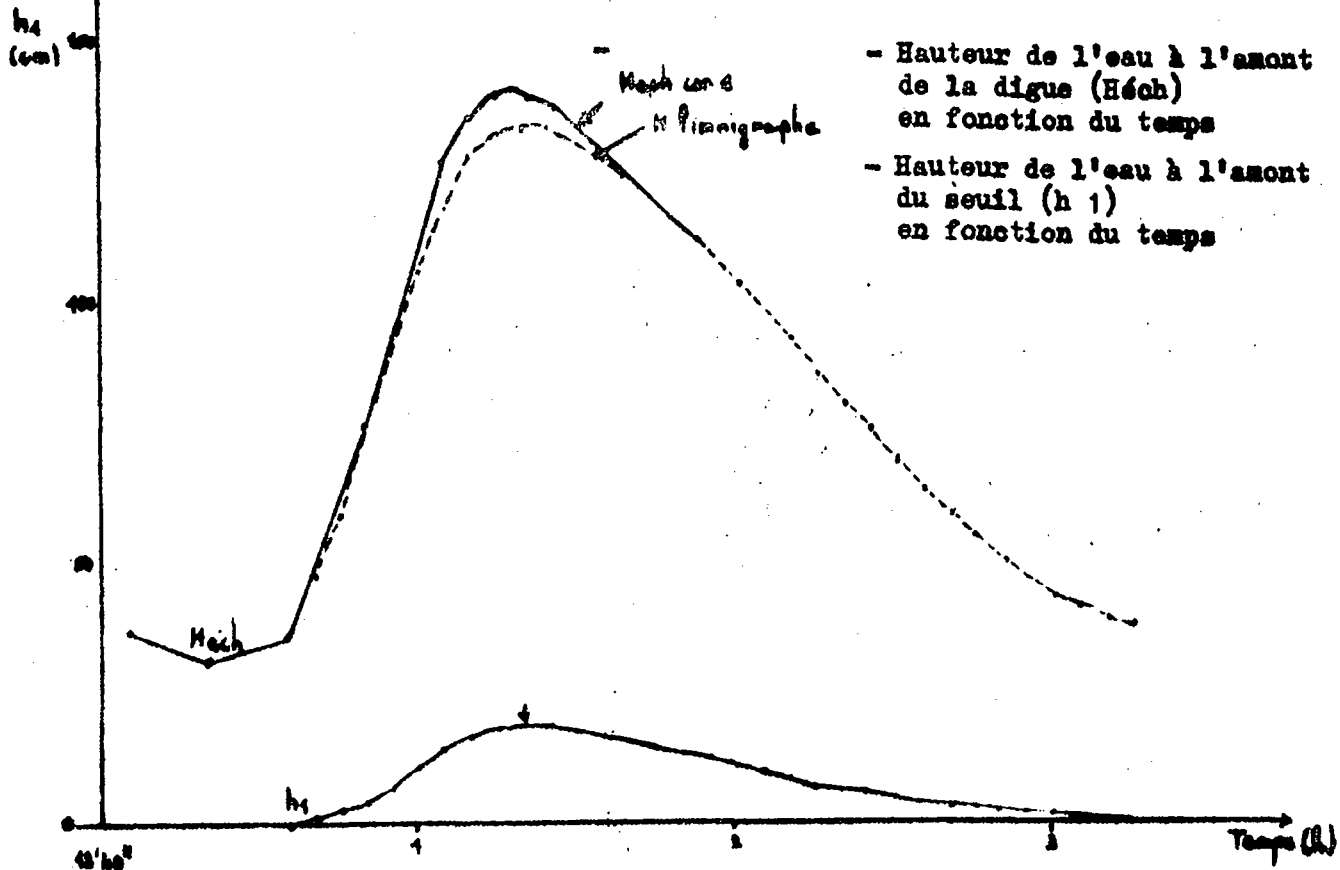
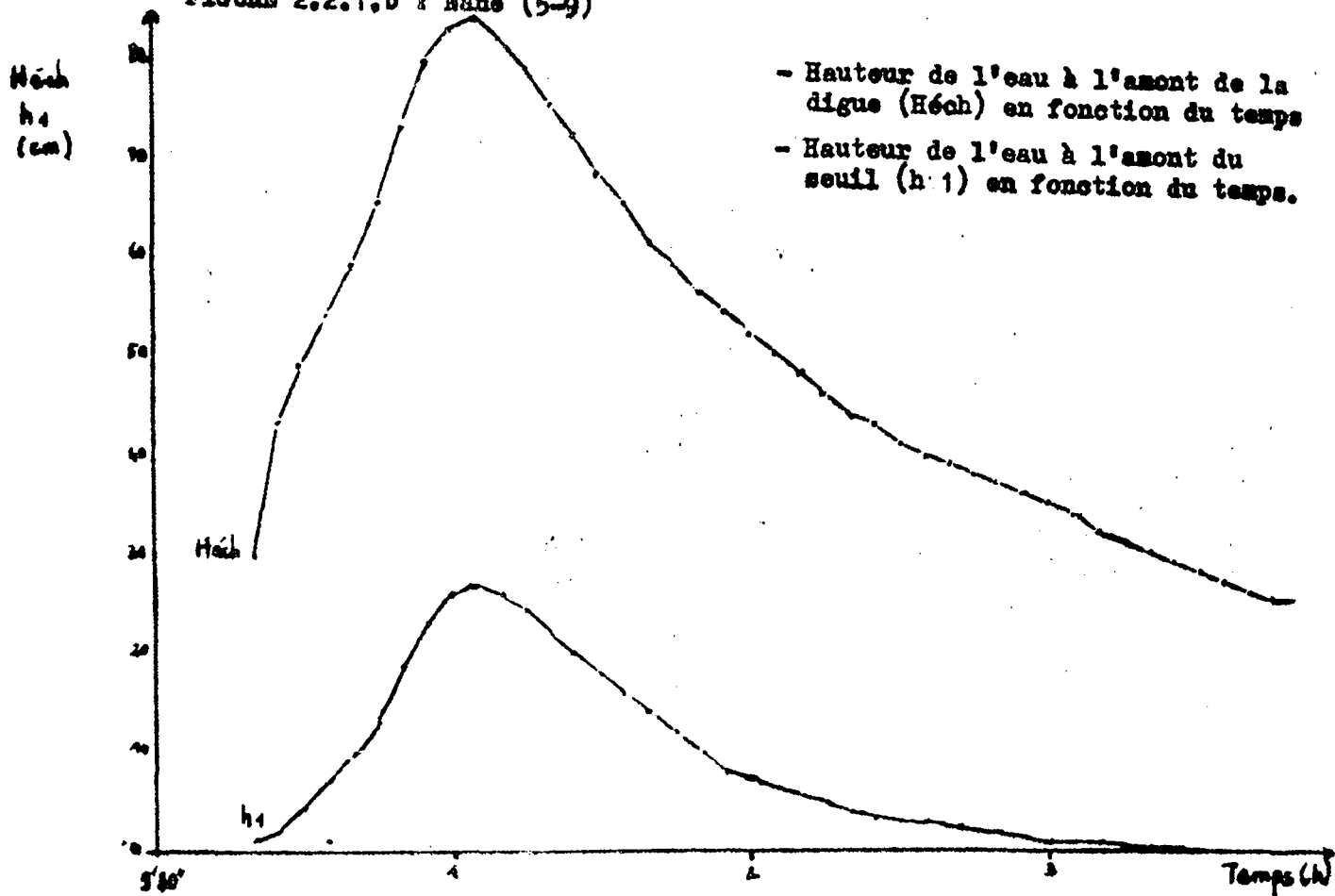


FIGURE 2.2.1.b : Nané (5-9)



date	début	fin	P (mm)	I (mm/h)	Hech max (cm)	Hech max cor.(cm)	Q filtré max(m3/h)
20-7	16h50	17h00	5	30			
22-7	14h45	15h07	16	44			
24-7	15h20	16h10	12.5	15	51		0.10
28-7	14h50	15h10	16.5	49	102.5		1.01
28-7	20h05	20h32	19.5	43	127	132	2.53
31-7	20h50	21h35	20	27	135	140.5	3.05
3-8	3h10	3h19	7	47	8.5		--
7-8	9h50	11h10	14.5	11	91		0.56
10-8	18h30	19h35	11.5	11	79		0.34
12-8	17h10	18h25	9	7	87		0.48
13-8	16h04	20h15	20.5	5	--		--
14-8	13h52	14h40	4.5	6	--		--
17-8			----		53		0.12
19-8	11h05	11h25	23	69	150	156	D
22-8	6h43	11h33	34	7	125.5	130.5	2.46
26-8	8h25	9h17	24.5	28	143.5	149	D
28-8			1		--		--
30-8			3.5		--		--
31-8	12h00	13h15	21	17	113	117.5	1.71
2-9	10h00	10h26	(10)	23	123.5	128 *	2.35
2-9	12h40		13		134	141 *	3.07(D)
5-9	3h05	4h23	24.5	19	144	150	D
5-9	9h30	13h00	31.5	9	155	160.5 *	D
6-9			16		130.5	135.5	2.74
8-9			3.5		21		--
9-9			3		--		--
14-9			1.5		--		--
18-9			7		--		--
21-9	15h45	16h45	16.5	16	119.5	124.5	2.13
25-9	6h42	7h52	9.5	8	53		0.09

			399.5				

* : valeurs observées

D : déversement

TABLEAU 2.2.1.a : DIGUE FILTRANTE DE SANKONDE
(bassin versant : 1.96 km²)Année 1986
Depuis le 20/7

-Précipitations
 -Hauteurs maximales à l'amont de la digue
 -Débits " " "
 -Volumes " " "

date	début	fin	P (mm)	\bar{I} (mm/h)	Hech max (cm)	Q filtré max(m ³ /h)
22-7	14h40	16h50	13	6	70	0.94
24-7	14h40	16h15	15	9	75	1.25
28-7	14h45	15h45	13	13	65	0.69
28-7	19h50	20h45	23	25		
31-7	20h33	21h25	23.5	27		
7-8	9h55	12h50	20.5	7	75	1.25
10-8	6h27	7h26	17	17		
12-8	4h20	7h36	9.5	3		
14-8	13h14	14h06	4.5	5		
17-8	18h09	19h08	19	19		
19-8	10h46	11h11	6	14	38	--
22-8	6h48	9h24	31	12	85	1.76
26-8	8h15	9h09	21.5	24	85	1.76
31-8	11h57	13h09	19.5	16	62	0.59
2-9	12h58	13h49	15.5	18	64	0.66
5-9	3h10	4h10	32.5	32	(100)	(D)
5-9	9h30	12h01	20	8	84	1.71
7-9			1			
8-9	6h13	7h03	3.5	4		
8-9	21h14	21h30	4.5	17		
18-9	18h20	21h10	7	2		
21-9	15h38	16h38	16	16	54	0.21
25-9	6h40	7h40	6	6		

			342			

D : déversement

TABLEAU 2.2.1.b : DIGUE FILTRANTE DE NANE
(bassin versant : 0.79 km²)

Année 1986
Depuis le 22/7

-Précipitations
-Hauteurs maximales à l'amont de la digue
-Débits " " "
-Volumes " " "

Jankonda (2.9/2^m pluie)

pluie : 13 mm

Heure	H _{ca} (m)	H _{red. ca.} (m)	h ₁ (m)	h _{1+0.05} (m)	h (m)	v̄ (m/s)	σ _h (m%)	σ _v (m%)	h _{1-0.05} (m)	h (m)	v̄ (m/s)	σ _h (m%)	σ _v (m%)	Q _h (m ³ /s)	Q _v (m ³ /s)	V (m ³)
13' 15"	0.36		0.005	0.02	0			0							0	3
20"	0.495		0.015	0.03	0.005	0.70	0.0035	0.0426							0.04	12
25"	0.63		0.03	0.045	0.015	0.77	0.0115	0.1400							0.14	42
30"	0.77		0.04	0.055	0.02	0.83	0.0166	0.2020	0.005	0				0	0.20	60
35"	0.935		0.07	0.085	0.04	0.94	0.0376	0.4576	0.035	0.02	0.54	0.0108	0.1314	0.59	177	
40"	1.105		0.11	0.125	0.06	1.13	0.0678	0.8251	0.075	0.04	0.83	0.0332	0.4040	1.23	369	
45"	1.27		0.15	0.165	0.085	1.25	0.1062	1.2925	0.115	0.06	1.04	0.0624	0.7594	2.05	615	
50"	1.355		0.17	0.185	0.10	1.29	0.1290	1.5699	0.135	0.075	1.08	0.0810	0.9858	2.56	768	
55"	1.40		0.185	0.20	0.11	1.33	0.1463	1.7805	0.15	0.085	1.13	0.0960	1.1683	2.95	885	
14' 00"	1.40	1.41	0.19	0.205	0.115	1.33	0.1529	1.8608	0.155	0.085	1.17	0.0994	1.2097	3.07	921	
05'	1.38	1.385	0.185	0.20	0.11	1.33	0.1463	1.7805	0.15	0.08	1.17	0.0936	1.1391	2.92	876	
10'	1.35	1.365	0.18	0.195	0.105	1.33	0.1396	1.6789	0.145	0.08	1.13	0.0904	1.1002	2.80	840	
15'	1.30	1.32	0.17	0.185	0.10	1.29	0.1290	1.5699	0.135	0.07	1.13	0.0791	0.9626	2.53	759	
20"	1.255	1.275	0.16	0.175	0.095	1.25	0.1187	1.4446	0.125	0.065	1.08	0.0702	0.8543	2.30	690	
25"	1.21	1.23	0.15	0.165	0.085	1.25	0.1062	1.2925	0.115	0.06	1.04	0.0624	0.7594	2.05	615	
30"	1.16	1.18	0.135	0.15	0.08	1.17	0.0936	1.1391	0.10	0.05	0.99	0.0495	0.6024	1.74	522	
35"	1.11	1.13	0.125	0.14	0.07	1.17	0.0819	0.9967	0.09	0.04	0.99	0.0396	0.4819	1.48	444	
40"	1.05	1.07	0.11	0.125	0.06	1.13	0.0678	0.8251	0.075	0.035	0.89	0.0211	0.2785	1.20	360	
45"	1.00	1.02	0.10	0.115	0.05	1.13	0.0565	0.6876	0.065	0.03	0.83	0.0249	0.3030	0.99	297	
50"	0.94	0.965	0.085	0.10	0.05	0.99	0.0495	0.6024	0.05	0.02	0.77	0.0154	0.1874	0.79	237	
55"	0.88	0.905	0.07	0.085	0.04	0.94	0.0376	0.4576	0.035	0.01	0.70	0.0070	0.0852	0.54	162	
15' 00"	0.82	0.845	0.065	0.08	0.035	0.94	0.0329	0.4004	0.03	0.005	0.70	0.0035	0.0426	0.44	132	
05'	0.77	0.79	0.06	0.075	0.03	0.94	0.0282	0.3432	0.025	0			0	0.34	102	
10'	0.71	0.73	0.05	0.065	0.03	0.83	0.0249	0.3030						0.30	90	
15'	0.655	0.68	0.04	0.055	0.025	0.77	0.0192	0.2337						0.23	69	
20"	0.61	0.625	0.035	0.05	0.02	0.77	0.0154	0.1874						0.19	57	
25"	0.565	0.58	0.03	0.045	0.02	0.70	0.0140	0.1704						0.17	51	
30"	0.52	0.535	0.025	0.04	0.015	0.70	0.0106	0.1278						0.13	39	
35"	0.48	0.495	0.02	0.035	0.01	0.70	0.0070	0.0852						0.09	27	
40"	0.45	0.46	0.02	0.035	0.01	0.70	0.0070	0.0852						0.09	27	
45"	0.425	0.43	0.015	0.03	0.005	0.70	0.0035	0.0426						0.04	12	
50"	0.405	0.41	0.01	0.025	0.005	0.63	0.0031	0.0377						0.04	12	
55"	0.385	0.39	0.01	0.025	0									0	3	

10275 m³

II.23.

hl (m)	hl+0.015 (m)	y (m)	n (t/s)	V (m ² /s)	V y (m ² /s)	Qg (m ³ /s)	Qg comp (m ³ /s)	Q/Q %
.15	.165	.085	5.82	1.33	.1130	1.3752	1.2925	+6.0
.13	.145	.075	5.20	1.18	.0885	1.0770	(1.0679)	+0.8
.11	.125	.06	5.02	1.14	.0684	0.8324	0.8251	+0.9
.08	.095	.05	3.87	0.88	.0440	0.5355	(0.5541)	-3.5
.06	.075	.03	3.85	0.88	.0264	0.3213	0.3432	-6.8
.05	.065	.03	3.55	0.81	.0243	0.2957	0.3030	-2.5

hl (m)	hl-0.035 (m)	y (m)	n (t/s)	V (m/s)	V y (m ² /s)	Qd (m ³ /s)	Qd comp (m ³ /s)	Q/Q %
.15	.115	.06	4.20	0.96	.0576	.7010	.7594	-8.3
.13	.095	.045	3.60	0.82	.0369	.4491	(.5421)	-20.1
.11	.075	.035	2.85	0.65	.0227	.2763	.3785	-37

II.24.

hl	Q total	Q total comp	Q/Q %
.15	2.0762	2.0519	+1.2
.13	(1.5261)	(1.51)	-5.5
.11	1.1087	1.2036	-8.6

TABLEAU 2.2.2.a.2 : COMPARAISON DES DEBITS SUR LE SEUIL OBTENUS
 -PAR CALCUL (Qg comp. et Qd comp.)
 -PAR MESURES AU MOULINET (Qg et Qd)

Digue de SANKONDE (5/9/86)

Name (5-9)

2ème pluie : 20 mm (8mm/h)

TABLEAU 2.2.2.b : Calcul du débit de filtration de la digue

l'écoulement	Hect (m)	h_1 (m)	$h_1 - 0.015$ (m)	y (m)	\bar{v} (m/s)	$\bar{v} y$ (m ² /s)	Q_1 (m ³ /s)	$h_1 + 0.01$ (m)	y (m)	\bar{v} (m/s)	$\bar{v} y$ (m ² /s)	Q_2 (m ³ /s)	Q_{total} (m ³ /s)	V (m ³)
9'55"	0.43	0.02	0.005	0			0	0.03	0				0	4
10'00"	0.49	0.045	0.03	0.005	0.70	0.0035	0.0134	0.055	0.01	0.94	0.0094	0.0361	0.05	15
05'	0.54	0.07	0.055	0.02	0.83	0.0166	0.0636	0.08	0.035	1.04	0.0260	0.0998	0.16	48
10'	0.59	0.10	0.085	0.035	0.99	0.0346	0.1825	0.11	0.04	1.17	0.0458	0.1797	0.31	93
15'	0.65	0.13	0.115	0.05	1.13	0.0565	0.2164	0.14	0.06	1.25	0.0750	0.2880	0.50	150
20'	0.73	0.185	0.17	0.08	1.33	0.1064	0.4035	0.195	0.09	1.43	0.1287	0.4942	0.90	270
25'	0.80	0.23	0.215	0.115	1.40	0.1610	0.6166	0.24	0.12	1.53	0.1836	0.7050	1.32	396
30'	0.83	0.26	0.245	0.13	1.50	0.1950	0.7468	0.27	0.14	1.60	0.2240	0.8502	1.61	483
35'	0.84	0.27	0.255	0.14	1.50	0.2100	0.8043	0.28	0.145	1.63	0.2362	0.9074	1.71	513
40'	0.82	0.26	0.245	0.135	1.47	0.1984	0.7599	0.27	0.14	1.60	0.2240	0.8602	1.62	486
45'	0.79	0.245	0.23	0.12	1.47	0.1764	0.6736	0.255	0.13	1.57	0.2441	0.7887	1.46	438
50'	0.75	0.22	0.205	0.11	1.36	0.1496	0.5730	0.23	0.12	1.47	0.1764	0.6774	1.25	375
55'	0.72	0.20	0.185	0.09	1.36	0.1224	0.4680	0.21	0.10	1.47	0.1470	0.5645	1.03	309
11'00"	0.68	0.18	0.165	0.08	1.29	0.1032	0.3953	0.19	0.085	1.43	0.1315	0.4666	0.86	258
05'	0.65	0.16	0.145	0.069	1.26	0.0812	0.3110	0.17	0.07	1.40	0.0980	0.3753	0.69	207
10'	0.61	0.14	0.125	0.058	1.17	0.0643	0.2463	0.15	0.06	1.33	0.0798	0.3064	0.55	165
15'	0.59	0.12	0.105	0.045	1.08	0.0486	0.1861	0.13	0.05	1.26	0.0625	0.2400	0.43	129
20'	0.56	0.10	0.085	0.035	0.99	0.0346	0.1325	0.11	0.04	1.17	0.0458	0.1797	0.31	93
25'	0.54	0.08	0.065	0.025	0.87	0.0222	0.0850	0.09	0.03	1.08	0.0224	0.1244	0.21	62
30'	0.52	0.075	0.06	0.02	0.89	0.0178	0.0632	0.085	0.025	1.08	0.0270	0.1037	0.17	51
35'	0.50	0.065	0.05	0.01	0.89	0.0089	0.0341	0.075	0.02	1.04	0.0208	0.0799	0.11	33
40'	0.48	0.06	0.045	0.005	0.89	0.0044	0.0169	0.07	0.015	1.04	0.0156	0.0599	0.08	24
45'	0.46	0.05	0.035	0.002	0.80	0.0016	0.0061	0.06	0.01	0.99	0.0099	0.0380	0.04	12
50'	0.44	0.04	0.025	0			0	0.05	0.005	0.94	0.0047	0.0180	0.02	6
55'	0.43	0.035						0.045	0.002	0.92	0.0018	0.0065	0.01	3
12'00"	0.41	0.03						0.04	0				0	1

4625 m³

11.25.

Sankondé (2-9/2 ^{année pluviale})

l'heure	Δt (min)	H. ord. (m)	V (m ³)	$\frac{\Delta V}{\Delta T}$ (m ³ /s)	Q_1 (m ³ /s)	$Q_2 - Q_1$ (m ³ /s)
13h15'		0.36	17		0	
	5			+ 0.10	0.045	0.14
20'	5	0.495	47	+ 0.21	0.09	0.35
25'	5	0.63	111	+ 0.42	0.19	0.67
13h30'	5	0.77	236	+ 0.52	0.32	1.47
	5			+ 1.71	0.49	2.72
35'	5	0.935	530	+ 1.71	1.01	4.24
40'	5	1.105	1044	+ 2.42	1.85	4.24
45'	5	1.27	1777	+ 1.60	2.27	4.10
50'	5	1.355	2253	+ 0.85	2.74	3.72
	5			+ 0.85	2.895	3.72
55'	3	1.40	2507	+ 0.32	3.01	3.36
58'	5	1.41	2564	- 0.47	3.04	2.52
14h03'	5	1.385	2423	- 0.38	2.92	2.48
	5			- 0.89	2.86	1.81
08'	5	1.365	2310	- 0.89	2.665	1.56
13'	5	1.32	2055	- 0.85	2.53	1.40
18'	5	1.275	1801	- 0.77	2.415	1.14
23'	5	1.23	1570	- 0.75	2.30	0.91
	5			- 0.75	2.175	0.62
28'	5	1.18	1344	- 0.72	2.05	0.37
14h33'	5	1.13	1134	- 0.72	1.895	0.21
	5			- 0.72	1.74	0.07
38'	5	1.07	918	- 0.53	1.61	0.13
	5			- 0.53	1.48	0.00
43'	5	1.02	759	- 0.52	1.34	0.12
	5			- 0.52	1.20	0.08
48'	5	0.965	602	- 0.45	1.095	0.07
	5			- 0.45	0.99	0.07
53'	5	0.905	468	- 0.42	0.89	0.07
	5			- 0.42	0.75	0.07
58'	5	0.845	343	- 0.26	0.665	0.07
	5			- 0.26	0.54	0.07
15h03'	5	0.79	265	- 0.24	0.49	0.07
	5			- 0.24	0.39	0.07
08'	5	0.74	192	- 0.14	0.34	0.07
	5			- 0.14	0.32	0.07
13'	5	0.68	149	- 0.13	0.265	0.07
	5			- 0.13	0.23	0.07
18'		0.625	109		0.21	0.07
					0.19	

TABEAU 2.2.3 : Calcul du débit de crue arrivant sur la digue

FIGURE 2.2.2.a : Sauvondé : (2/3 - 2^e pluie)

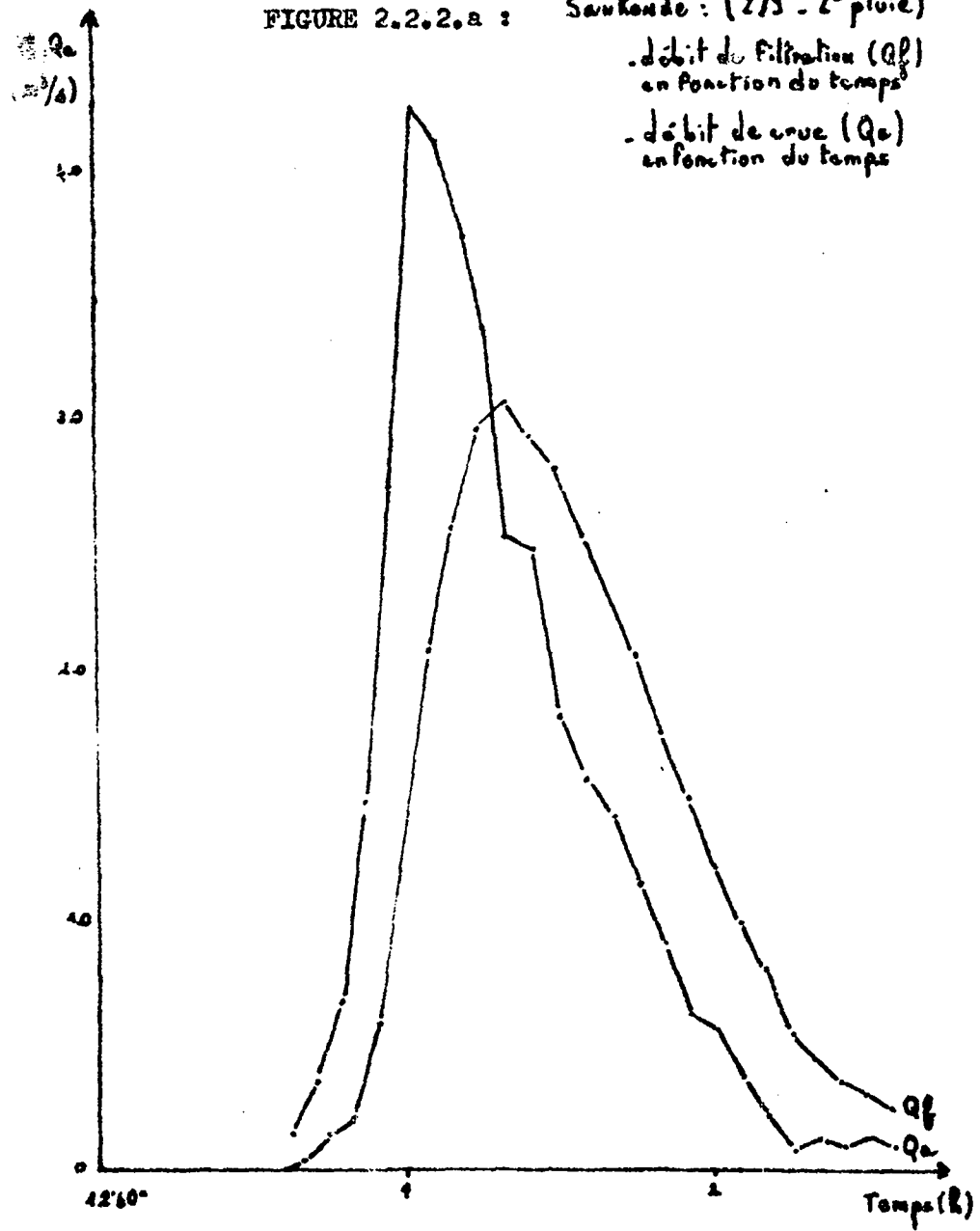


FIGURE 2.2.2.b : Nanzé : (5/9)

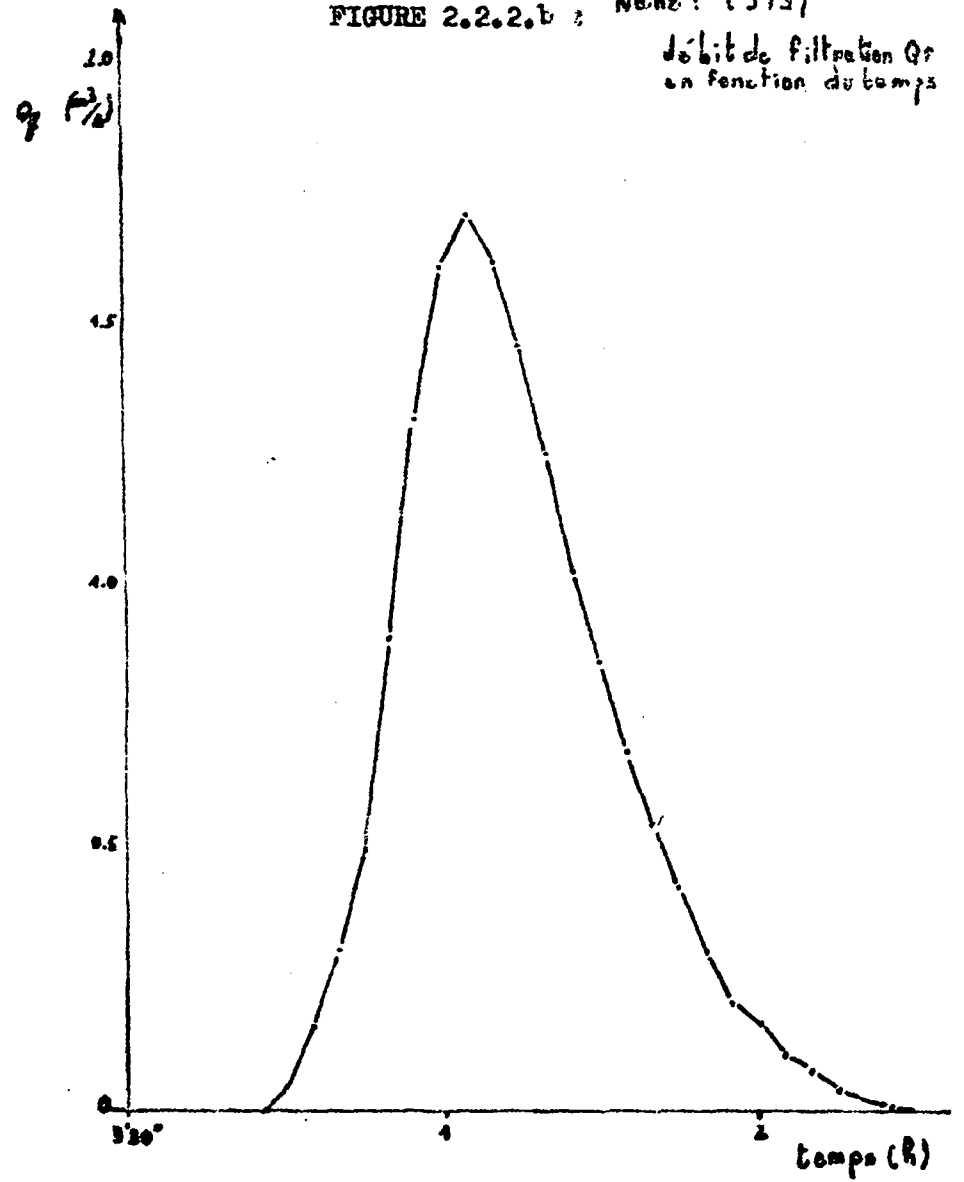


FIGURE 2.2.3.a :

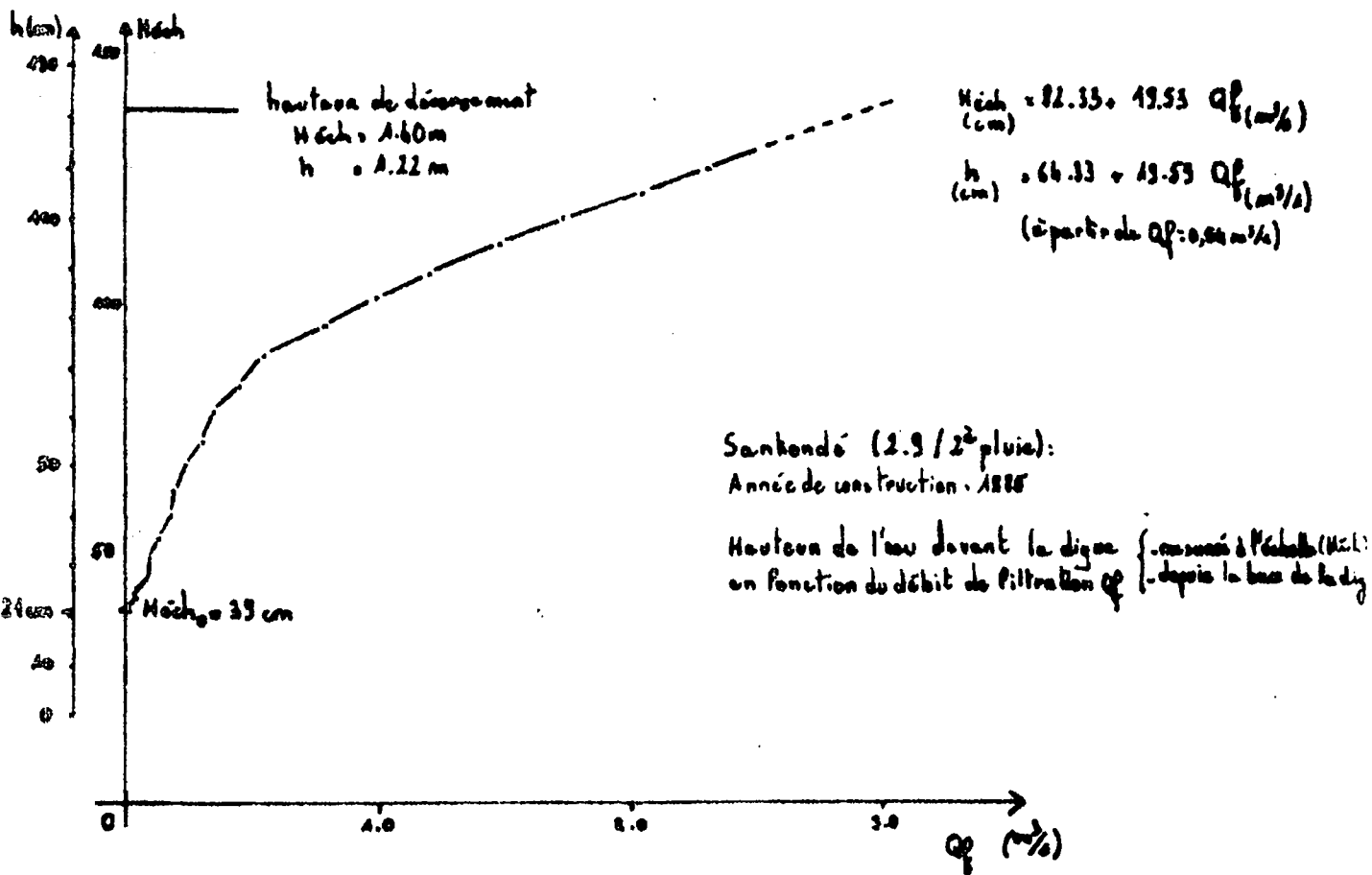


FIGURE 2.2.3.b :

Nané (5.9) : Année de construction 1881

Hauteur de l'eau devant la digue { - mesurée à l'échelle (Héch)
 en fonction du débit de Filtration { - depuis la base de la digue

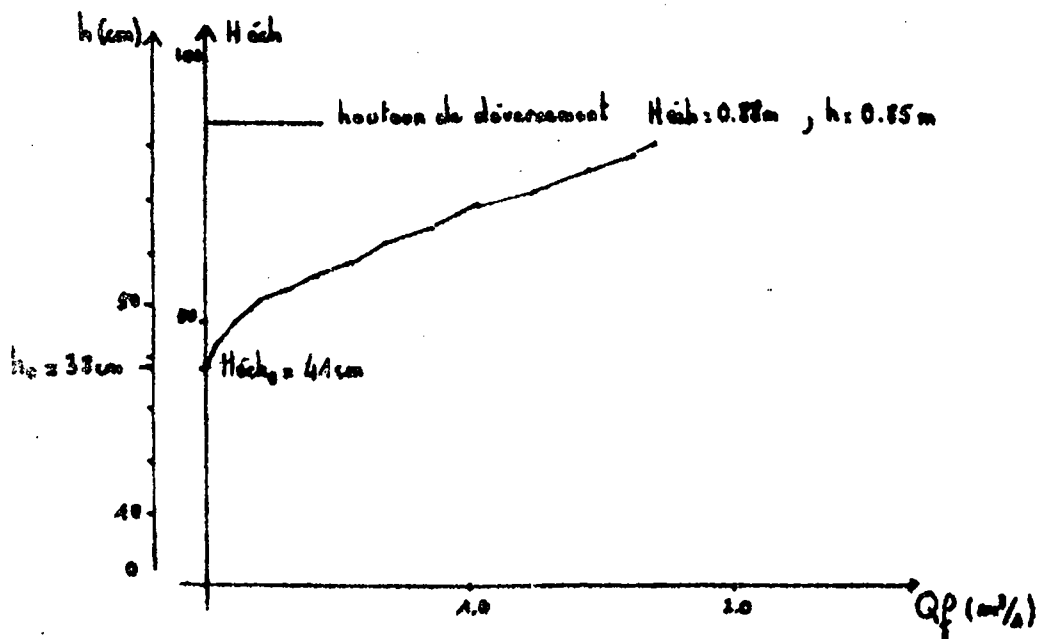


FIGURE 2.2.4.a Sankandé (2.9/3° pleia) :

Surface de filtration (A_f) en fonction
du débit de filtration (Q_f)

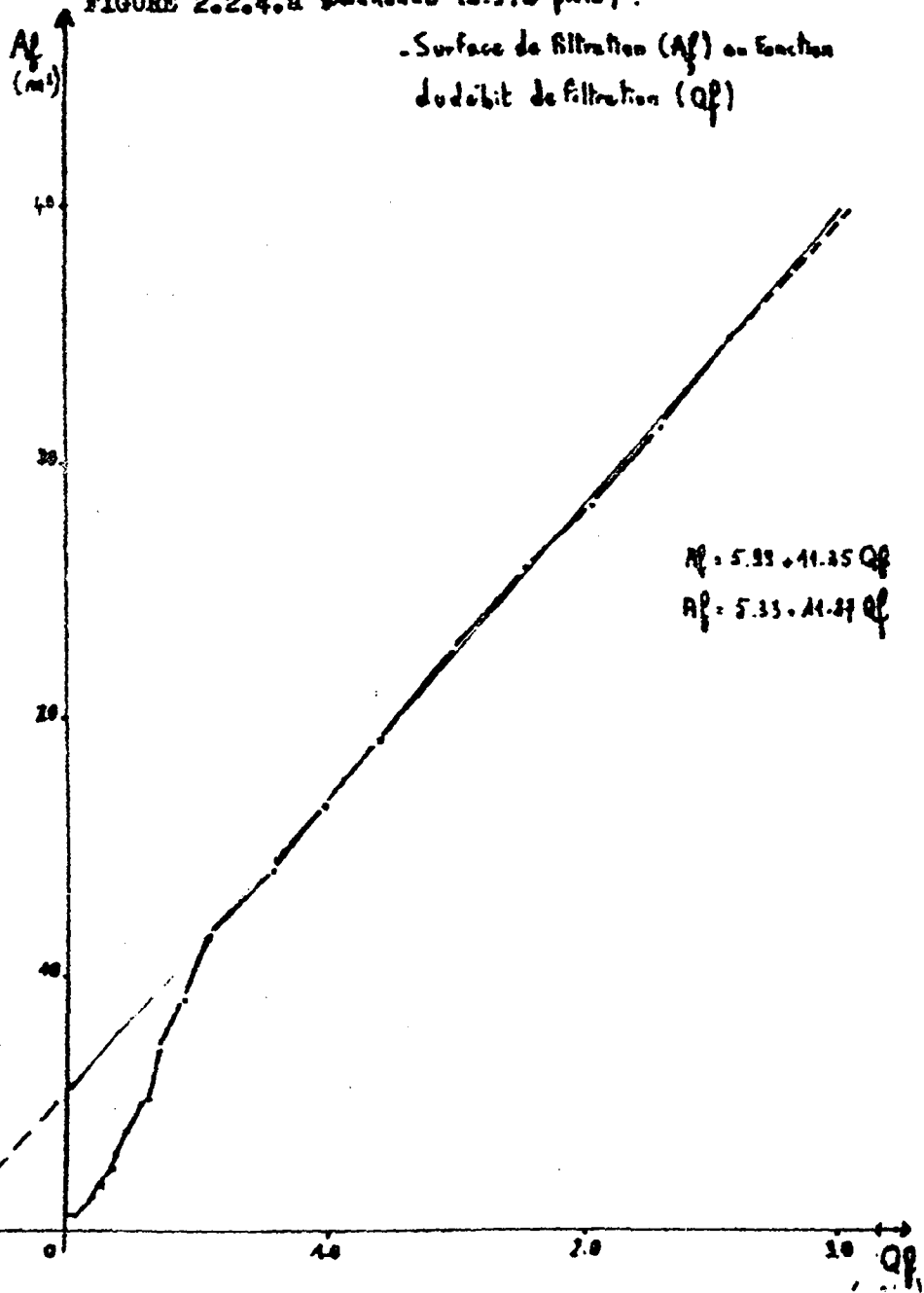
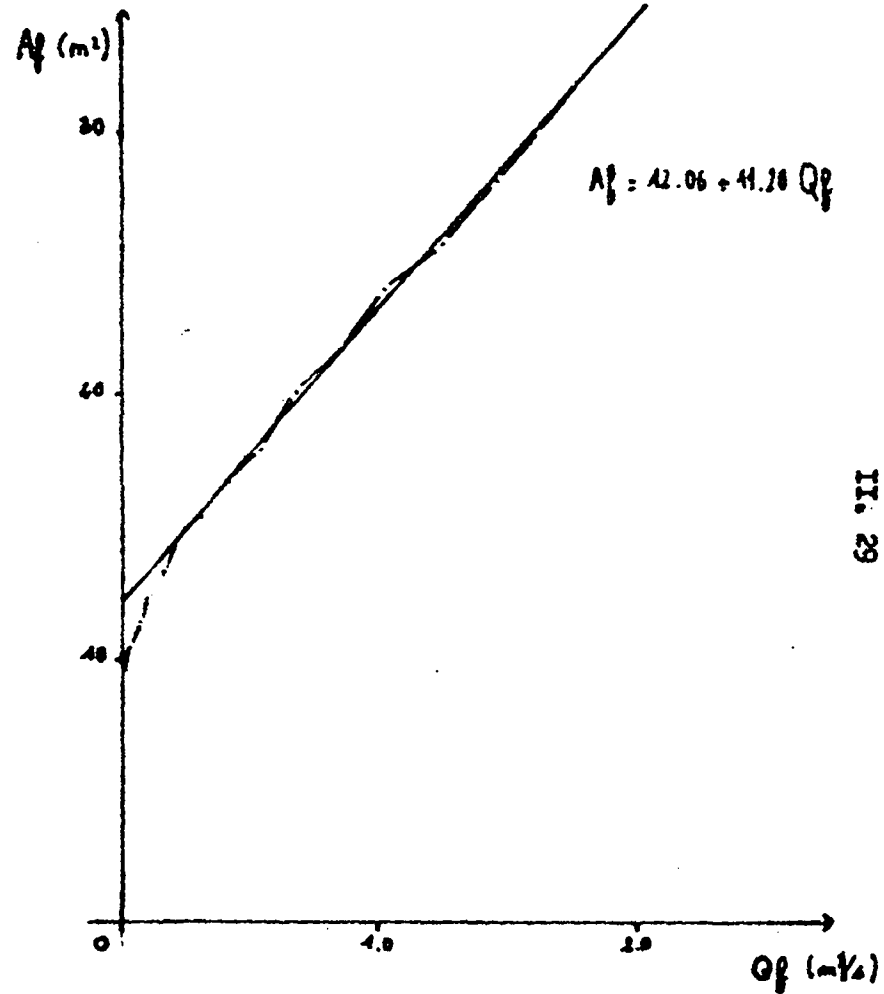


FIGURE 2.2.4.b : Namé (5.9) :

Surface de filtration (A_f) en fonction
du débit de filtration (Q_f)



Sankonde
5-9

L'heure : 9'30" - 13'00"
pluviométriques : 30 / 33 mm

II.30.

L'heure	H _{tot} (m)	h ⁿ (m)	y ⁿ (m)	v ⁿ (m/s)	v ⁿ (m ² /s)	m ⁿ	h _c ⁿ (m)	v _c ⁿ (m/s)	v _c ⁿ (m ² /s)	m _c
10' 20"	1.355	0	0							
21"	1.39	0.035	0.02	0.54	0.0108	0.37				
22"	1.43	0.075	0.035	0.89	0.0311	0.34				
23"	1.46	0.105	0.04	1.13	0.0452	0.30				
24"	1.485	0.13	0.055	1.21	0.0665	0.32				
25"	1.50	0.145	0.07	1.21	0.0847	0.35				
26"	1.525	0.17	0.08	1.33	0.1064	0.34				
27"	1.54	0.185	0.085	1.40	0.1190	0.34				
28"	1.555	0.20	0.095	1.43	0.1358	0.34				
29"	1.57	0.215	0.10	1.50	0.1500	0.34				
10' 30"	1.575	0.22	0.10	1.53	0.1530	0.33				
31"	1.585	0.23	0.115	1.50	0.1725	0.35				
32"	1.59	0.235	0.115	1.53	0.1759	0.35				
33"	1.60	0.245	0.12	1.57	0.1884	0.35				
34"	1.605	0.25	0.125	1.57	0.1962	0.35				
35"	1.6075	0.2525	0.125	1.58	0.1975	0.35				
36"	1.6075	0.2525	0.125	1.58	0.1975	0.35				
37"	1.6075	0.2525	0.125	1.58	0.1975	0.35				
38"	1.6075	0.2525	0.125	1.58	0.1975	0.35				
39"	1.6075	0.2525	0.125	1.58	0.1975	0.35	0.2075	1.27	0.1587	0.38
40"	1.605	0.25	0.125	1.57	0.1962	0.35	0.205	1.25	0.1562	0.38
41"	1.605	0.25	0.12	1.60	0.1920	0.35	0.205	1.29	0.1548	0.38
42"	1.60	0.245	0.12	1.57	0.1884	0.35	0.20	1.25	0.1500	0.38
43"	1.5975	0.2425	0.12	1.55	0.1860	0.35	0.1975	1.23	0.1476	0.38
44"	1.59	0.235	0.12	1.50	0.1800	0.36	0.19	1.17	0.1404	0.38
10' 45"	1.585	0.23	0.115	1.50	0.1725	0.35	0.185	1.17	0.1345	0.38
46"	1.58	0.225	0.115	1.47	0.1690	0.36	0.18	1.13	0.1299	0.38
47"	1.575	0.22	0.11	1.47	0.1617	0.35	0.175	1.13	0.1243	0.38
48"	1.57	0.215	0.10	1.50	0.1500	0.34	0.17	1.17	0.1170	0.38
49"	1.565	0.21	0.095	1.50	0.1425	0.33	0.165	1.17	0.1111	0.37
50"	1.5575	0.2025	0.09	1.48	0.1332	0.33	0.1575	1.15	0.1035	0.37
51"	1.55	0.195	0.085	1.47	0.1249	0.33	0.15	1.13	0.0960	0.37
52"	1.54	0.185	0.08	1.43	0.1144	0.32	0.14	1.08	0.0864	0.37
53"	1.5375	0.1825	0.08	1.42	0.1136	0.33	0.1375	1.06	0.0848	0.38
54"	1.53	0.175	0.075	1.40	0.1050	0.32	0.13	1.04	0.0780	0.38
55"	1.525	0.17	0.075	1.36	0.1020	0.33	0.125	0.99	0.0742	0.38
56"	1.515	0.16	0.07	1.33	0.0931	0.33	0.115	0.94	0.0658	0.38
57"	1.5075	0.1525	0.065	1.31	0.0851	0.32	0.1075	0.91	0.0591	0.38
58"	1.50	0.145	0.06	1.29	0.0774	0.32	0.10	0.89	0.0534	0.38
59"	1.49	0.135	0.055	1.25	0.0687	0.31	0.09	0.83	0.0456	0.38
11' 00"	1.48	0.125	0.05	1.21	0.0605	0.31	0.08	0.77	0.0385	0.38
01"	1.47	0.115	0.045	1.17	0.0526	0.30	0.07	0.70	0.0315	0.38
02"	1.465	0.11	0.045	1.13	0.0508	0.31	0.065	0.63	0.0283	0.38
03"	1.4675	0.1025	0.035	1.15	0.0402	0.28	0.0575	0.66	0.0231	0.38
04"	1.45	0.095	0.03	1.13	0.0339	0.26	0.05	0.63	0.0189	0.38
05"	1.44	0.085	0.025	1.08	0.0270	0.25	0.04	0.54	0.0135	0.38
06"	1.43	0.075	0.02	1.04	0.0208	0.23	0.03	0.44	0.0088	0.38
07"	1.42	0.065	0.015	0.99	0.0148	0.20	0.02	0.31	0.0046	0.37
08"	1.41	0.055	0.01	0.94	0.0094	0.16	0.01	0	0	
09"	1.40	0.045	0				0	0	0	

TABLEAU 2.2.4 : Calcul du coefficient de débit de la digue de Sankonde

$$v = \sqrt{2g(h^2 - y^2)}$$

$$v y^2 = m \sqrt{2g} (h^2 - y^2)^{3/2}$$

FIGURE 2.2.6. : Sankondé : (déversement du S.9) - Débit total écoulé

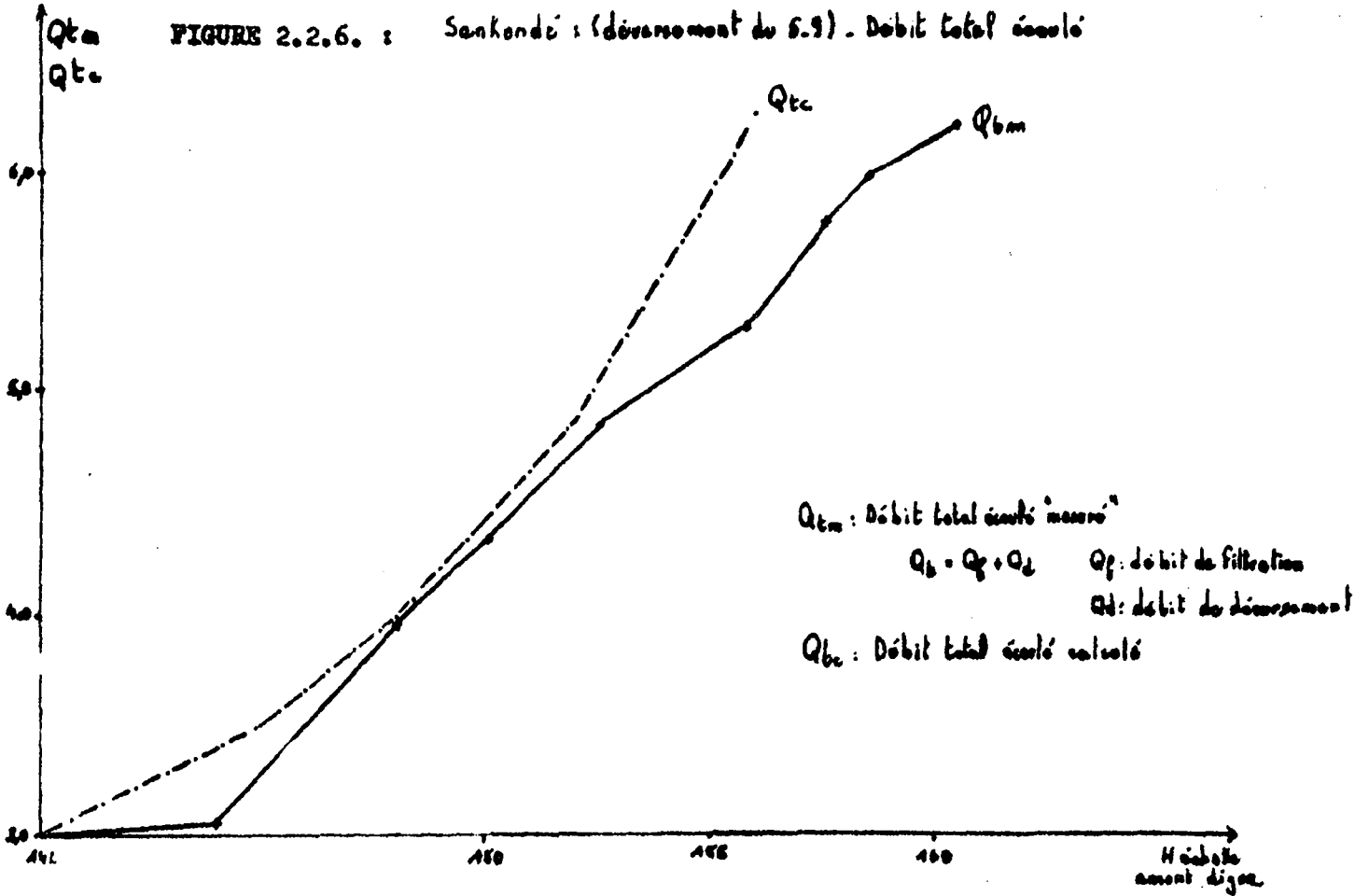


FIGURE 2.2.5. : Oigue de Sankondé, seuil : Débit de déversement en fonction de la hauteur

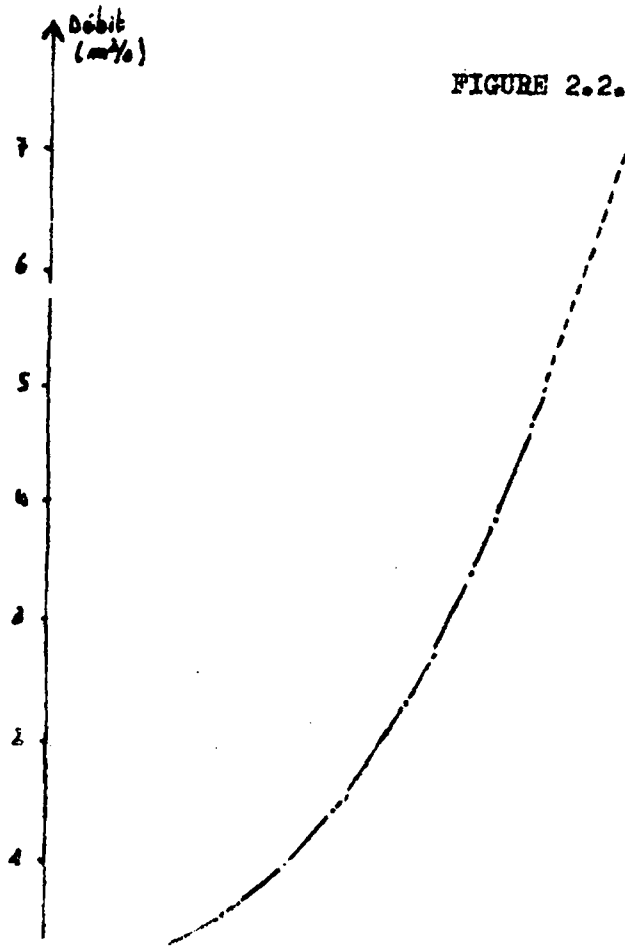


TABLEAU 2.2.5 : SANKONDE (5/9) - DEVERSEMENT

Calcul du débit total écoulé : filtration + déversement Q_{tc}
 Comparaison avec débit total "mesuré" Q_{tm}

H ech (m)	Af (m ²)	Qf (m ³ /s)	Af (m ²)	Qf (m ³ /s)	Qd (m ³ /s)	Qtc (m ³ /s)	Qtm (m ³ /s)	Q/Q %
1.35	36.12	2.71						
1.38	38.08	2.89						
1.40	39.39	3.00						
1.45			2.51	0.22	0.27	3.49	3.40	2.6
1.48			3.83	0.34	0.64	3.96	3.96	0.5
1.52			5.18	0.46	1.42	4.88	4.75	2.7
1.56			5.72	0.51	2.75	6.26	5.36	14.4
1.58			5.76	0.51	3.65	7.16	5.88	17.9
1.60			5.80	0.51	4.98	8.49	6.21	26.8

Af : Surface de filtration

Qf : Débit de filtration

ΔAf : Surface de filtration supplémentaire

ΔQf : Débit de filtration supplémentaire

Qd : Débit de déversement

Qtc : Débit total écoulé calculé $Q_{tc} = 3.0 + Qf + Qd$

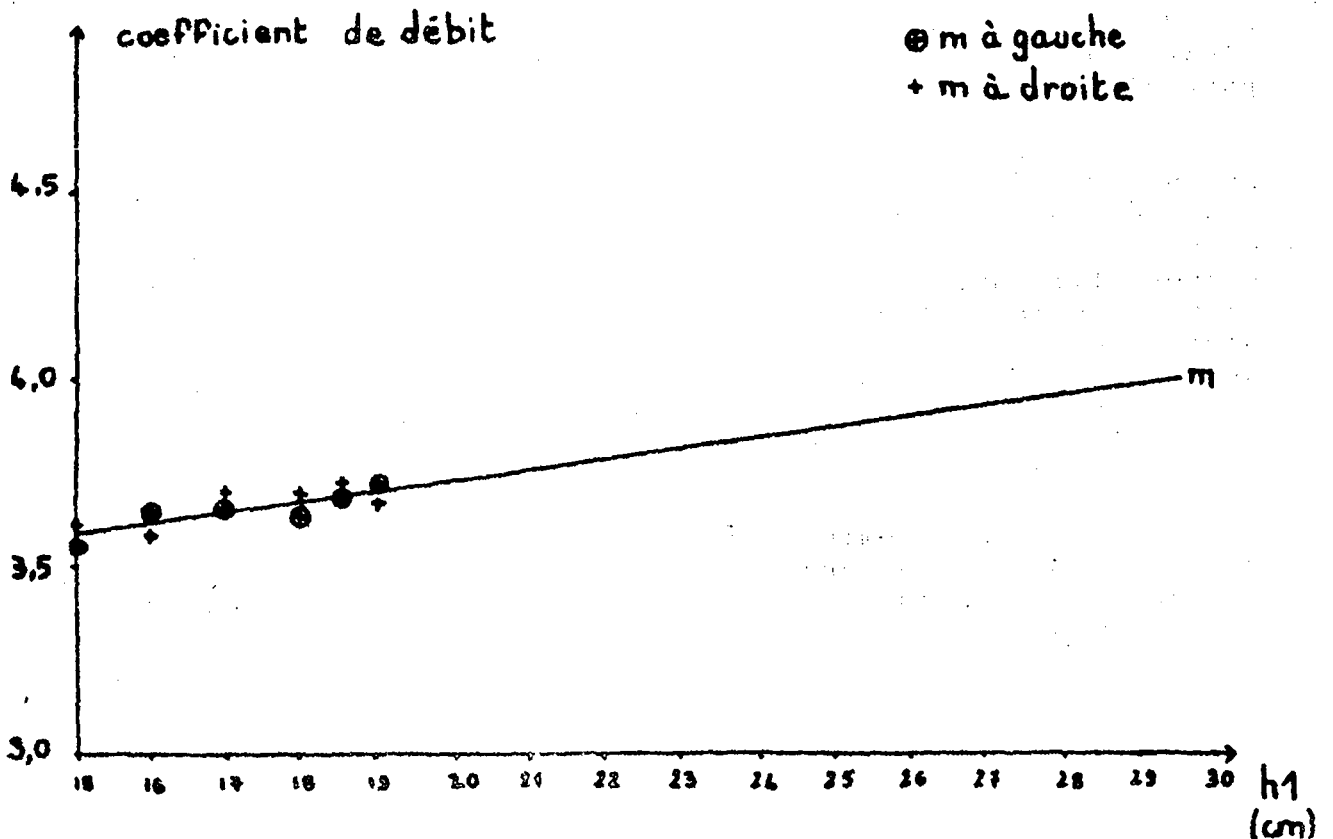
Qtm : Débit total "mesuré"

TABLERAU 2.2.6 : Coefficient de débit du seuil à l'aval de la digue de SANKONDE (2/9-2è partie)

$Vy^* = m \sqrt{2g * h}$

h1 (m)	h* (m) gauche	Vy* (m) gauche	m	h* (m) droite	Vy* (m) droite	m
.015	.03	.0035	.15			
.03	.045	.0115	.272			
.04	.055	.0166	.291			
.07	.085	.0376	.343	.035	.0108	.372
.11	.125	.0678	.346	.075	.0332	.366
.15	.165	.1062	.357	.115	.0624	.361
.17	.185	.1290	.366	.135	.0810	.362
.185	.20	.1463	.369	.15	.0960	.373
.19	.205	.1529	.372	.155	.0994	.368
.18	.195	.1396	.366	.145	.0904	.370
.16	.175	.1187	.366	.125	.0702	.369
.135						

Pour $20 < h1 < 30$, on retient $m = 0.387$



2.3. LE CALCUL DE LA CRUE DE PROJET : COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT SUR PETITS BASSINS VERSANTS.

2.3.1. Objectifs de la mesure :

Pour étudier le dimensionnement des digues filtrantes, nous avons jusqu'ici supposé connue la crue de projet (que l'on peut prendre comme étant la crue de fréquence décennale) à adopter. La détermination de cette crue nécessite la connaissance d'un certain nombre de facteurs, dont le coefficient de ruissellement des pluies tombées sur le bassin versant. Il existe relativement peu de références dans ce domaine concernant les petits bassins versants. Nous avons utilisé celles fournies par l'ORSTOM (dans le volume XXI, n°2, 1984-85 : "Caractéristiques des crues des petits bassins représentatifs du Sahel" par R. RODIER). Nous avons réalisé des mesures spécifiques qui sont à comparer avec celles des bassins versants de TIKARE I et TIKARE II figurant dans le "recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux (années 1951-1969)" par P. DUBREUIL-ORSTOM, 1972.

2.3.2. Méthode utilisée :

2.3.2.1. Principe de calcul de la crue de projet :

-Choix de la fréquence de crue :

Le premier problème est de choisir la fréquence de la crue à prendre en compte pour le dimensionnement des digues, c'est-à-dire le niveau acceptable de risque d'une destruction, partielle ou totale, de l'ouvrage par la crue.

La plupart des ouvrages de type déversoirs de petits barrages, par exemple, sont calculés pour pouvoir faire passer la crue de fréquence décennale (qui se produit une année sur dix). Compte tenu de la simplicité de construction et de réparation des digues filtrantes et de la nature de l'investissement (investissement humain pour une grande part), il ne paraît peut-être pas nécessaire de les dimensionner de façon telle qu'elles puissent résister à une crue de fréquence décennale, ce qui pourrait conduire à des chantiers trop importants.

Nous avons donc adopté la démarche suivante :

- Dans un premier temps, on calculera le coefficient de ruissellement et la crue correspondante décennale, pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux trouvés dans la littérature.

- Dans un second temps, on calculera sur un exemple, les débits de crues de différentes fréquences, pour les comparés avec ceux observés sur le terrain, de façon à comparer les résultats des calculs avec les observations réalisées au cours de la saison des pluies 1986.

- Si ces résultats sont comparables, cela permettra d'évaluer la période de retour pour laquelle les digues ont été dimensionnées et de donner aux agents de terrain des éléments d'appréciation pour juger :

. s'ils peuvent faire des économies en temps de travail initial dans le cas où elles sont manifestement surdimensionnées . si la fréquence des réparations nécessaires est ou non compatible avec un fonctionnement correct et la capacité de mobilisation des villageois, dans le cas d'un sous-dimensionnement

- Détermination de la crue de fréquence décennale :

La démarche générale utilisée est la méthode ORSTOM ou méthode RODIER-AUVRAY pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale (1965). Elle est résumée comme suit :

L'hypothèse de base est que la crue décennale est engendrée par une averse décennale. Le principe du calcul du débit maximal de ruissellement pur est le suivant :

1- On estime la hauteur H de l'averse décennale ponctuelle, sans prendre en compte son intensité.

2- on calcule le volume total V_p de la précipitation sur le bassin en multipliant la hauteur H par un coefficient d'abattement (qui tient compte de la non homogénéité spatiale de l'averse considérée) et par la superficie S du bassin considéré. On a ainsi :

$$V_p = \xi H S$$

Pour les bassins versants de très faible superficie de l'ordre du km² qui nous intéressent, G.VUILLAUME (Cahiers de l'ORSTOM vol.XI n°3 - 1974) a montré que ξ est très proche de 1.

On prendra donc dans la suite : $\xi = 1$

3- On recherche la valeur du coefficient de ruissellement K_r à partir des caractéristiques topographiques, d'occupation du sol et géologiques du bassin versant. Le volume d'eau effectivement ruisselé sur le bassin est égal au produit de V_p par ce coefficient de ruissellement. On a alors :

$$V_r = K_r \cdot V_p$$

La difficulté est la détermination de ce coefficient de ruissellement. La méthode ORSTOM est basée sur une classification des bassins en fonction d'un certain nombre de critères dont les

indices de perméabilité et de relief dont la détermination est relativement subjective et difficile à mettre en oeuvre par un hydrologue non confirmé.

4- A partir des caractéristiques du bassin, on évalue le temps de base T_b qui correspond à la durée effective du ruissellement sur le bassin. On peut également évaluer le temps de montée T_n de la crue, T_b et T_n permettant de définir l'hydrogramme de crue une fois connu le débit de pointe.

Le débit moyen M de ruissellement, pour la crue décennale, pendant un temps égal au temps de base est :

$$M = K_r \cdot V_p / T_b$$

5- Le débit de pointe Q_{max} de la crue est égal au produit du débit moyen M par un coefficient α déterminé expérimentalement.

$$Q_{max} = \alpha \cdot M$$

On voit facilement que, si on assimile l'hydrogramme à un simple triangle $Q_{max}/M = 2$. Si l'hydrogramme est très aigu avec une base élargie, ce qui est le cas de nombreux bassins ruisselant très bien, le volume de la crue sera inférieur à celui de la crue "triangulaire", et par suite Q_{max}/M sera supérieur à 2.

2.3.2.2. Principe des mesures réalisées :

La lame d'eau ruisselée (en mm) L_r se déduit directement du volume ruisselé : $L_r = V_r/S$ et $K_r = L_r/P$

où V_r : volume d'eau ruisselé (m³)
 S : superficie du bassin versant (m²)
 P : pluie moyenne sur le bassin versant

- Site de barrage :

Sur 7 sites de barrages non filtrants, on a installé une échelle limnimétrique. A chaque pluie, et en éliminant les pluies ayant donné lieu à des déversements, on note l'élévation du niveau de l'eau correspondante dans le barrage.

On a réalisé, avant les pluies, un levé topographique de la retenue et ainsi calculé sa courbe hauteur-volume. On peut donc déterminer le volume des apports de chaque pluie, qui correspond au volume ruisselé sur le bassin versant du barrage.

On a placé deux pluviomètres dans chaque bassin versant étudié (entre 0.2 et 1.6 km²): l'un sur le barrage, l'autre à l'amont à l'intérieur du bassin. Pour chaque pluie, on note :

- l'heure de début et l'heure de fin de pluie
- la hauteur de pluie

Le volume est déterminé en multipliant la hauteur de pluie mesurée sur les pluviomètres par la superficie du bassin versant obtenue par planimétrage sur photos aériennes au 1/50000 ($\xi = 1$).

Le rapport V_r/S donne donc une valeur expérimentale de L_r .

Les mesures de hauteur étant effectuées toutes les demi-heures lors de la montée de l'eau dans le barrage, elles sont arrêtées lorsque deux mesures successives donnent le même résultat. N'ayant pas d'indication sur la forme réelle des hydrogrammes, et compte tenu du degré de précision des mesures, il est difficile de dire si ce que l'on mesure est le ruissellement pour l'écoulement global ou une valeur intermédiaire.

L'objectif des mesures étant le dimensionnement des digues, on se place dans le cas le plus défavorable en considérant qu'il s'agit de ruissellement.

- Sites des digues filtrantes :

On a tenté de déterminer le coefficient de ruissellement des bassins versants des digues filtrantes de Sankondé et Nané. V_p est déterminé de la même manière que pour le barrage. V_r est déterminé à partir des résultats obtenus précédemment en faisant la somme des volumes filtrés par intervalle de temps pendant la durée de la crue. Ce faisant, on néglige les volumes infiltrés à l'amont de la digue pendant cette durée. Il faudra vérifier par la suite que cette hypothèse est justifiée.

2.3.2.3. Matériel mis en place :

Des échelles ont été placées à la mi-juillet sur 7 sites de barrages : Birou, Yougounini, Denguilga, Temporé, Temnaoré, Baribri, Hamdallay. Sur chaque bassin versant concerné, on a placé deux pluviomètres : l'un sur le site du barrage, l'autre à l'amont.

En ce qui concerne les mesures effectuées sur les digues filtrantes, on utilise le matériel - et les résultats obtenus - des sites (Sankondé et Nané) étudiés par ailleurs pour la détermination du débit de filtration en fonction de la hauteur d'eau à l'amont.

2.3.2.4. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés :

Les mesures ont commencé fin juillet sur les sites de barrages. Sur chaque site, un villageois notait pour chaque pluie

- l'heure de début et de fin de pluie
- la hauteur de pluie

- toutes les demi-heures à partir du début de la pluie, et jusqu'à ce que le niveau ne change plus d'une mesure à l'autre, le niveau de l'échelle du barrage.

Il a fallu quelques précieuses semaines pour que ce dispositif fonctionne à peu près correctement. Le degré de précision obtenu n'est certainement pas très bon, mais sans doute compatible avec celui des levés topographiques et de la détermination de la superficie des bassins versants.

Un problème particulier s'est posé : la première mesure ne pourrait être faite qu'un certain temps après le début de la pluie, nécessaire à l'observateur pour se rendre sur le site parfois relativement éloigné du village. On ne dispose pas, dans ces conditions, d'une mesure exacte du niveau de l'eau avant la pluie. Il a donc été demandé aux observateurs de noter régulièrement la hauteur d'eau entre les pluies, de façon à pouvoir, à partir de la courbe de tarissement, déduire les valeurs de niveau correspondant au début des épisodes pluvieux. Cependant, les résultats obtenus semblent indiquer que le tarissement des barrages étudiés est souvent très irrégulier (hétérogénéité de perméabilité de la cuvette ; la possibilité d'erreurs de lecture n'est également pas à écarter), ce qui a rendu difficile l'estimation de la hauteur d'eau avant la pluie.

2.3.3. Résultats obtenus :

2.3.3.1. Sites de barrages :

Pour ce qui concerne les barrages, la qualité des observations et la disponibilité du levé topographique de la retenue n'ont permis de retenir que trois sites : Birou, Yougounini et Temporé.

Les tableaux, page II-63 et 64, 2.3.1.a (Birou), 2.3.1.b (Temporé), 2.3.1.c (Yougounini), montrent les résultats obtenus.

La surface des bassins versants ayant été déterminée à partir des photos aériennes au 1/50000, l'imprécision de la mesure a conduit à faire les calculs en utilisant une fourchette de +/- 10% autour de la valeur calculée.

L'étude du relief des bassins versants n'a fait l'objet que d'observations visuelles qualitatives et d'analyses stéréoscopiques des photos aériennes. Le relief de la région étant en général assez accidenté, on donne, pour chaque site, le pourcentage de la superficie du bassin en "faibles" pentes. (Le bassin versant de Yougounini est, de ce point de vue, significativement différent des autres, aussi bien en ce qui concerne la hauteur des collines que la proportion de terrain en faible pente : 50 %)

Les variables indiquées dans chaque tableau sont :

- la date de la pluie
- P (mm) : la hauteur de la pluie considérée (en général, il n'y a pas de différence importante entre le pluviomètre situé sur le site et celui sur le bassin versant. Quand il y en a, on a pris la moyenne des deux relevés).
- I (mm/h) : l'intensité moyenne de l'averse
- Hav (cm) : hauteur de l'eau lue à l'échelle avant la crue
- Hap (cm) : hauteur de l'eau lue à l'échelle après la crue
- Vr (m³) : volume ruisselé
- Lr (mm) : lame d'eau ruisselée
- Vp (m³) : volume des précipitations
- Kr : coefficient de ruissellement

- Birou :

Le tableau 2.3.1.a, page II-63, présente les résultats concernant les pluies pour lesquelles les observations ont été suffisamment nombreuses. Pour les pluies antérieures au 5/09, la détermination de la hauteur d'eau juste avant la pluie n'a pas posé de problème : les valeurs de Hav ont été déterminées en utilisant la dernière observation avant la pluie concernée et en diminuant cette hauteur de 0.1 cm par heure jusqu'au début de la pluie.

En effet, les pertes diverses (évaporation, infiltration et fuites, et éventuellement consommation) varient entre 0 et 0.18 cm/h, avec une moyenne de 0.11 cm/h calculée sur 21 observations avec un écart-type $\sigma_n = 0.04$ cm/h.

Cette valeur des pertes (0.11 cm/h) correspond, pour la partie de la courbe hauteur-volume de pente la plus forte, à un débit moyen de pertes d'environ 6 m³/h.

La valeur moyenne de l'intervalle de temps mesuré entre le début de la pluie et la fin de montée du niveau correspondant (qui correspondrait, en la surestimant, à la notion de temps de concentration) sur 8 observations variant entre 1h20 et 5h30, est de 2h10 (écart-type $\sigma_n = 1h20$). Les pertes maximales correspondantes dans les retenues, (en supposant une influence immédiate de la pluie sur le niveau du barrage) seraient dans ces conditions de l'ordre de 13 m³ par pluie en moyenne, ce qui est parfaitement négligeable vis à vis de l'ordre de grandeur de Vr et Vp.

- Temporé :

Le tableau 2.3.1.b, page II-63, présente les résultats en 2 parties :

La partie A présente les observations exploitables et les calculs effectués sans tenir compte de l'élévation de la hauteur d'eau pendant les trente premières minutes après le commencement de la pluie.

Les résultats de la partie B ont été obtenus en estimant la valeur de Hav au début de la pluie. Cette représentation a été retenue à cause de la difficulté de détermination de Hav.

Les valeurs de Hav de la partie B ont été déterminées en utilisant les observations effectuées entre les pluies. Ces dernières montrent que les pertes par évaporation, infiltration+fuites et consommation éventuelle sont importantes pour ce barrage : elles varient de 0.08 à 0.39 cm/h avec une moyenne de 0.2 cm/h calculée sur 27 observations (écart-type $n = 0.09$ cm/h).

Cette valeur de 0.2 cm/h correspond, pour la partie de la courbe hauteur-volume de plus forte pente, à un débit moyen de pertes d'environ 180 m³/h.

La valeur moyenne de l'intervalle de temps entre le début de la pluie et la fin de la montée de l'eau dans le barrage, calculée sur 8 observations, est de 2h40 mn (écart-type $n = 50$ mn), variant entre 1 heure et 4 heures. Le volume des pertes serait en moyenne dans ces conditions d'environ 480 m³ par pluie, ce qui est parfaitement négligeable comparé à l'ordre de grandeur de Vr et Vp .

- Yougounini :

Les résultats figurent dans le tableau 2.3.1.c, page II-64 . Les valeurs de Hav ont été calculées en utilisant, pour une crue donnée, la dernière observation de niveau de la crue précédente et en appliquant une baisse de 0.1 cm par heure jusqu'au début de la pluie étudiée.

On obtient des valeurs de coefficient de ruissellement très faibles par rapport à l'ordre de grandeur des coefficients obtenus pour Birou et Temporé (20 à 50 fois plus faibles). Ces écarts ne peuvent être justifiés par des erreurs de mesure de niveau ou des superficies du bassin versant. Il s'agit peut-être d'une erreur d'échelle concernant le levé topographique de la retenue. Ce point devra être éclairci lors de la prochaine campagne de mesures. Les résultats présentés pour Yougounini ne seront donc pas analysés dans la suite du présent document.

2.3.3.2. Les sites de digues filtrantes :

Les résultats sont présentés, page II-64, dans le tableau 2.3.2 (La méthode de calcul figure en annexe 2.3).

A Sankondé, les calculs ont été faits pour les pluies les plus ruisselantes. A Nané, on a retenu la pluie pour laquelle les observations étaient les plus complètes.

On a négligé, dans les calculs, les volumes infiltrés à l'amont des digues pendant la durée de la crue. Si l'on reprend le rapide calcul fait au paragraphe 2.2.3.4 sur l'estimation du

débit d'infiltration à l'amont de la digue de Sankondé lors de la deuxième crue du 2/09 (la plus ruisselante d'après les résultats obtenus pour Kr), on estime le débit maximum d'infiltration pour cette crue comme :

$$Q_i \text{ max} = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

En faisant l'hypothèse que ce débit est obtenu au moment de la pointe de crue (Q_{max}), et en assimilant la forme des hydrogrammes obtenus (cf figure 2.2.2.a) à des triangles, on peut estimer le débit moyen d'infiltration Q_i par la formule :

$$Q_i = Q_i \text{ max} / 2 \quad \text{ce qui donne} \quad Q_i = 0.055 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'observation des graphiques donnés par le limnigraphe, montre que, pour les crues dont on a calculé le coefficient de ruissellement, le temps pendant lequel l'amont de la digue est en eau, est d'environ 4 heures. Le volume infiltré est donc de : $4 * 3600 * 0,055 = 792 \text{ m}^3$, ce qui représente une erreur relative, par rapport au volume ruisselé calculé V_r de 7.7 %. (Cette valeur étant obtenue pour la crue du 2/09 la plus ruisselante). Ces erreurs sont comprises dans la fourchette de +/- 10% que l'on s'est fixée comme pouvant résulter de l'imprécision de la mesure de surface du bassin versant.

2.3.4. Discussions-conclusions :

2.3.4.1. Méthode d'interprétation :

L'interprétation des résultats obtenus ci-dessus est basée sur la détermination des facteurs d'explication de la lame d'eau ruisselée à l'aide des autres variables connues sur les différentes observations effectuées, à savoir :

- P : hauteur de pluie sur le bassin versant
- I : intensité moyenne (mm/h)
- D : durée de la pluie (en heures)
- Date : de la pluie (numéro du jour dans l'année)
- N : intervalle de temps séparant la pluie observée avec la précédente (en heures)
- P ant : hauteur de la précédente pluie (mm)

N'ayant pas à notre disposition la chronique complète des pluies depuis le début de la saison, il n'a pas été possible de calculer un indice des précipitations antérieures du type de celui utilisé par l'ORSTOM pour les simulations de pluie menées en Afrique Occidentale et Centrale, ou de végétation.

Par ailleurs, le faible nombre de bassins versants étudiés n'a pas permis de quantifier l'importance des facteurs liés au bassin versant : superficie, compacité, pente, perméabilité ...

Tous les bassins se trouvant dans une petite région relativement homogène sur le plan géomorphologique et de superficie comprise entre 0.2 et 2 km², il n'est pas interdit de

penser que leur comportement vis à vis du ruissellement est relativement homogène (hypothèse à vérifier). On a donc privilégié l'analyse des facteurs climatiques.

Le faible nombre d'observations conduit à présenter les résultats ci-dessus avec la plus grande prudence. Une seconde année, au moins, de mesures permettrait de consolider les bases de l'analyse qui a consisté en :

- l'analyse de l'importance respective des variables explicatives du ruissellement :

On a utilisé la régression linéaire multiple, qui donne une expression de la lame ruisselée du type :

$$Lr = A0 + A1 V1 + \dots + An Vn$$

où $V1, \dots, Vn$ sont les variables explicatives retenues.

Il n'y a aucune raison, a priori, pour que les variations de Lr soient expliquées par une forme linéaire, mais cette méthode a l'avantage de la simplicité.

Au cours du calcul, une sélection progressive des variables les plus explicatives est opérée. A chaque étape est sélectionnée la variable dont le seuil de signification du coefficient de corrélation partielle est maximum. On a testé la sensibilité du modèle retenu en effectuant le calcul avec deux niveaux seuil du risque de première espèce : 5 et 10 % .

- l'estimation d'une formule simple permettant la détermination a priori de la lame d'eau ruisselée :

La seule donnée en général connue et à la disposition du projeteur est la pluviométrie. Dans la mesure où cette variable a été déterminée comme suffisamment explicative dans la phase précédente, on peut tenter d'ajuster les variations de Lr à une fonction de P . Un type d'ajustement couramment utilisé est l'ajustement à une fonction puissance de type :

$$Lr = a.P^b$$

qui a l'avantage de pouvoir être ramené à un problème de régression linéaire simple en posant : $\text{Log } Lr = \text{Log } a + b \text{ Log } P$

2.3.4.2 Bassin versant du barrage de Birou :

- Surface du bassin versant : $S = 235010 \text{ m}^2 \pm 10 \%$
- Pourcentage de "faibles" pentes : 10 %

Les analyses ont porté sur les données suivantes :

TITRE : LAME RUISSELÉE

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 11 NOMBRE DE VARIABLES : 8

FICHER DE DONNEES : 8:LOBTROUR

	1	2	3	4	5	6	7	8
	LR	ER	P	I	N	DATE	DUREE	PANT
1	2.20	16.00	14.00	24.00	225.30	257.00	0.58	37.00
2	2.50	19.00	13.00	5.00	121.00	243.00	2.60	16.00
3	3.50	39.00	9.00	12.00	78.80	222.00	0.75	32.00
4	4.70	29.00	16.00	17.00	93.10	238.00	0.94	31.00
5	5.70	44.00	13.00	31.00	62.00	248.00	0.42	20.50
6	6.30	28.00	22.00	19.00	71.40	263.00	1.16	8.00
7	9.30	30.00	31.00	7.00	67.25	234.00	4.43	21.50
8	9.80	48.00	20.50	18.00	2.20	245.00	1.14	36.00
9	9.80	45.00	21.50	37.00	39.30	231.00	0.58	7.50
10	18.70	51.00	37.00	25.00	5.66	248.00	1.48	13.00
11	24.80	69.00	36.00	64.00	45.00	245.00	0.56	13.00

- Régression linéaire multiple :

L'utilisation du modèle progressif donne les expressions suivantes de Lr :

$$\text{Au seuil } 5\% : Lr = 0.5162 P + 0.1751 I - 6.2118 \quad (r=0.961)$$

$$10\% : Lr = 0.4405 P + 0.1763 I - 0.0226 N - 2.9723 \\ (r=0.976)$$

(Les valeurs élevées du coefficient de corrélation multiple sont liées au faible nombre d'observations)

La lame d'eau ruisselée peut être décrite par deux, ou trois variables si l'on est moins exigeant sur le seuil de signification. Les variables les plus explicatives sont la hauteur de pluie et son intensité moyenne, suivies par l'intervalle de temps séparant la pluie étudiée de la précédente.

- Ajustement à une fonction puissance :

La relation obtenue entre lame ruisselée et hauteur de pluie est la suivante :

$$Lr = 0.09 P^{1.46} \quad r = 0.867$$

La distribution des résidus (centrés et réduits) = valeur observée - valeur calculée, autour de 0 montre une tendance de l'ajustement à surestimer les valeurs faibles et dans une moindre mesure, sous-estimer les valeurs fortes (il s'agit de Log Lr) (attention aux faibles nombres d'observations...)

	OBSERVES	CALCULES	RESIDUS	RESIDUS CENTRES REDUITS		
				-2.0	0	2.0
1	0.788	1.444	-0.656	*		
2	0.916	1.336	-0.420		*	
3	1.253	0.799	0.454			*
4	1.548	1.639	-0.092		*	
5	1.740	1.336	0.404			*
6	1.841	2.104	-0.263		*	
7	2.230	2.605	-0.375		*	
8	2.282	2.001	0.281			*
9	2.282	2.070	0.212			*
10	2.929	2.863	0.066		*	
11	3.211	2.823	0.388			*

2.3.4.3. Bassin versant du barrage de Temporé :

On a vu que, à cause de la difficulté d'estimation de la hauteur d'eau dans le barrage au début de la pluie, les résultats obtenus sur le barrage de Temporé ont été présentés sous deux formes :

A : calculs effectués sans tenir compte de l'élévation du niveau de l'eau avant la première observation (sous estimation du volume ruisselé)

B : calculs effectués après estimation de ce niveau (possibilités d'erreurs liées à la difficulté d'estimation)

On a effectué l'analyse sur les deux séries de données.

-superficie : $S = 2121360 \text{ m}^2 \pm 10 \%$
 -pourcentage de pentes "faibles" : 20 %

a) Données non corrigées :

Elles sont présentées dans le tableau suivant :

TITRE : LAME RUISSELLEE

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 7 NOMBRE DE VARIABLES : 8

FICHIER DE DONNEES : B:LTEMPR

	1	2	3	4	5	6	7	8
	LR	KR	P	I	N	DATE	DUREE	PANT
1	5.20	43.00	12.00	29.00	116.00	231.00	0.41	13.00
2	5.60	43.00	13.00	14.00	42.40	226.00	0.93	30.00
3	8.50	43.00	20.00	10.00	93.50	238.00	2.00	32.50
4	10.90	36.00	30.00	19.00	45.30	224.00	1.58	12.00
5	11.70	37.00	32.00	15.00	68.40	248.00	2.13	57.50
6	12.70	39.00	32.50	8.00	67.50	234.00	4.06	12.00
7	23.80	41.00	57.50	16.00	44.80	245.00	3.59	27.00

-Régression linéaire multiple :

Le modèle progressif donne les résultats suivants :

au seuil 5% : $Lr = 0.3995 P - 0.0437$ ($r = 0.992$)

10% : même expression

(Fortes valeurs du coefficient de corrélation r liées au faible nombre d'observations)

Le modèle est stable et ne retient que la hauteur de pluie comme seule variable significativement explicative de Lr . Il semble que le faible nombre d'observations, qui favorise des coefficients de corrélation élevés, privilégie la variable P par rapport aux autres (en particulier la variable "durée", dont le coefficient de corrélation avec Lr est de 0.078).

Cette relation peut également s'écrire :

$$Lr = 0.3995 (P - 0.0437 / 0.3995)$$

$$\begin{array}{ccc} Lr = 0.3995 (P - 0.1094) \\ (\text{mm}) & (\text{mm}) & (\text{mm}) \end{array}$$

qui représente un cas particulier du modèle :

$$Lr = K0 (Ht - H0)$$

indiqué par GIRARD ("Les modèles hydrologiques pour l'évaluation de la lame d'eau écoulée en zone sahélienne et leurs contraintes" GIRARD G. Cahiers de l'ORSTOM, série hydrologie vol.XII,n°3,1975)

- où : Lr : lame ruisselée (mm)
- KO : coefficient de ruissellement de la quantité de pluie supérieure à HO
- Ht : hauteur totale journalière de pluie dans le modèle de GIRARD, dont on trouve ici l'assimilation à une averse ponctuelle (probabilité importante d'une averse par jour, ou conservation de la forme de l'averse s'il y en a plus d'une par jour)
- HO : hauteur de pluie non ruisselante

Dans ce cas particulier, HO = 0.1 mm peut être négligé et on peut assimiler KO à Kr. Le coefficient de ruissellement est donc constant pour ce bassin et a pour valeur (données non corrigées):

$$Kr = 40 \%$$

Il faut cependant attirer l'attention sur le fait que cette relation a été établie sur un échantillon de faible taille, correspondant à des hauteurs de pluies variant entre 12 et 57.5 mm. Il est possible qu'en rajoutant dans l'échantillon des mesures de lame d'eau ruisselée provoquées par des pluies exceptionnelles, on retrouve une relation $Lr = f(P)$ qui s'ajuste à une fonction puissance de type $Lr = a P^b$ avec un exposant b supérieur à 1. Le coefficient Kr ne pourrait donc être considéré comme constant que jusqu'à un certain seuil de pluie à déterminer.

b) Données corrigées :

L'estimation des hauteurs d'eau avant la crue a permis d'augmenter le nombre d'observations dans le tableau suivant :

TITRE : LAME RUISSELLEE

NOMBRE D' OBSERVATIONS : 10 NOMBRE DE VARIABLES : 8

	LR	KR	P	I	N	DATE	DUREE	PANT
1	2.50	31.00	8.00	10.00	143.30	257.00	0.80	19.50
2	5.90	45.00	13.00	14.00	42.40	226.00	0.93	30.00
3	6.70	56.00	12.00	29.00	116.00	231.00	0.41	13.00
4	8.40	70.00	12.00	40.00	64.20	241.00	0.30	20.00
5	11.70	37.00	32.00	15.00	68.40	248.00	2.13	57.50
6	12.90	64.00	20.00	10.00	93.50	238.00	2.00	32.50
7	13.50	42.00	32.50	8.00	67.50	234.00	4.06	12.00
8	13.80	46.00	30.00	19.00	45.30	224.00	1.58	12.00
9	13.90	71.00	19.50	12.00	81.50	252.00	1.63	32.00
10	25.10	44.00	57.50	16.00	44.80	245.00	3.59	27.00

- Régression linéaire multiple :

Le modèle progressif donne les résultats suivants :

au seuil 5% : $Lr = 0.387 P - 2.2885$ (r=0.928)

10% : même expression

Mis à part le fait que ces données donnent des résultats plus élevés pour Lr (puisque l'on estime les volumes ruisselés non mesurés), les remarques faites à propos des données non corrigées peuvent être faites également ici (en particulier à propos de la variable Durée).

La comparaison avec le bassin du barrage de Birou, plus petit et de forme plus allongée, montre que les facteurs Intensité et Intervalle de temps depuis la dernière pluie ne sont plus considérés ici comme suffisamment explicatifs. Il est possible d'y voir l'effet de la superficie plus grande du bassin (effet tampon plus important).

L'expression particulière du modèle :

$$Lr = K0 (Ht - H0)$$

identifiée avec les données non corrigées devient ici :

$$Lr = 0.387 (P - 2.885/0.387)$$

$$Lr = 0.387 (P - 7.45)$$

Les pluies ruisselantes sont celles qui dépassent $H0 = 7.45$ mm

Le coefficient de ruissellement $Kr = 0$ pour $P < 7.45$ mm

$Kr = 39\% = Cste$ pour $P > 7.45$ mm

Il faut rappeler ici la remarque faite à propos de l'échantillon de données non corrigées, à savoir que cette relation a été établie avec des averses variant entre 8 et 57.5 mm, et qu'il est possible que les coefficients de ruissellement ne puissent être considérés comme constants que jusqu'à un certain seuil de pluie pouvant se situer en deçà de l'averse exceptionnelle considérée pour la détermination de la crue de projet.

2.3.4.4. Tous bassins confondus (Birou, Tempéré, Sankondé, Nané):

Les superficies des bassins sont :

BIROU	: S = 235010 m ²	+/- 10%	11 observations
TEMPORE	: S = 2121360 m ²	+/- 10%	
	Données non corrigées	: 7 observations	
	Données corrigées	: 10 observations	
SANKONDE	: S = 1614200 m ²	+/- 10%	3 observations
NANE	: S = 791050 m ²	+/- 10%	1 observation

Etant donné le nombre peu élevé d'observations par bassin versant, il a paru intéressant d'analyser l'échantillon obtenu en rassemblant les observations faites sur les quatre bassins. Ce regroupement peut tenter de conforter les conclusions obtenues sur les principales variables explicatives de la lame ruisselée.

On dispose en fait de deux échantillons, selon que l'on prend en compte les données corrigées de Tempéré ou non.

a) Avec les données de Tempéré non corrigées :

Les données obtenues sont les suivantes :

TITRE : LAME RUISSELÉE

NOMBRE D' OBSERVATIONS : 22

NOMBRE DE VARIABLES : 8

	LR	KR	P	I	N	DATE	DUREE	PANT
1	2.20	16.00	14.00	24.00	225.30	257.00	0.58	37.00
2	2.50	19.00	13.00	5.00	121.00	243.00	2.60	16.00
3	3.50	39.00	9.00	12.00	70.80	222.00	0.75	32.00
4	4.70	29.00	16.00	17.00	93.10	238.00	0.94	31.00
5	5.20	43.00	12.00	29.00	116.00	231.00	0.41	13.00
6	5.60	43.00	13.00	14.00	42.40	226.00	0.93	30.00
7	5.70	44.00	13.00	31.00	62.00	248.00	0.42	20.50
8	6.00	30.00	20.00	8.00	5.40	248.00	2.50	32.50
9	6.30	28.00	22.00	19.00	71.40	263.00	1.16	8.00
10	7.80	32.00	22.50	19.00	62.00	248.00	1.29	13.00
11	8.30	36.00	23.00	69.00	116.30	231.00	0.33	4.50
12	8.50	43.00	20.00	10.00	93.50	238.00	2.00	32.50
13	9.30	30.00	31.00	7.00	67.25	234.00	4.43	21.50
14	9.80	48.00	20.50	18.00	2.20	245.00	1.14	36.00
15	9.80	45.00	21.50	37.00	39.30	231.00	0.58	7.50
16	10.90	36.00	30.00	19.00	45.30	224.00	1.58	12.00
17	11.70	37.00	32.00	15.00	68.40	248.00	2.13	57.50
18	12.70	39.00	32.50	8.00	67.50	234.00	4.06	12.00
19	13.00	41.00	31.50	9.00	5.00	248.00	3.50	32.00
20	18.70	51.00	37.00	25.00	5.66	248.00	1.48	13.00
21	23.80	41.00	57.50	16.00	44.80	245.00	3.59	27.00
22	24.80	69.00	36.00	64.00	45.00	245.00	0.56	13.00

- Régression linéaire multiple :

Le modèle progressif donne les résultats suivants :

au seuil 5% : $Lr = 0.4318 P + 0.1031 I - 0.0252 N - 1.3310$
($r=0.947$)

au seuil 10% : même expression.

On observe que les facteurs explicatifs retenus sont les mêmes que ceux retenus également pour le bassin de Birou (ce bassin est fortement représenté dans l'échantillon, puisqu'il totalise 50% des observations).

La variable N : intervalle de temps entre la pluie étudiée et la précédente , qui n'était introduite qu'au seuil de confiance 10% pour Birou, est introduite au seuil 5% (plus grande taille de l'échantillon, influence des bassins de Sankondé et Nané).

Les coefficients de régression de P et de I sont diminués par rapport à ceux de Birou, celui de N est augmenté; le terme constant diminue : on constate un léger rééquilibrage. La distribution des résidus centrés réduits autour de 0 est relativement équilibrée (deux points sont à l'extérieur de l'intervalle -2,+2).

- Ajustement à une fonction puissance :

La relation trouvée est :

$$Lr = 0.18 P \quad r = 0.884$$

Cette relation est intermédiaire entre celles obtenues

pour Birou : $Lr = 0.09 P$

pour Temporé : $Lr = 0.387 (P - 7.45)$

tant pour l'exposant que pour la constante. Elle traduit la prise en compte de bassins versants de tailles différentes comprises entre les deux extrêmes représentées par Birou et Temporé.

La distribution des résidus centrés réduits autour de 0 est relativement équilibrée (un point est situé en dehors de l'intervalle -2,+2).

	OBSERVES	CALCULES	RESIDUS	RESIDUS CENTRES REDUITS		
				-2.0	0	2.0
1	0.788	1.531	-0.742 *	!	!	!
2	0.916	1.439	-0.523 ! *	!	!	!
3	1.253	0.987	0.266 !	!	*	!
4	1.548	1.695	-0.147 !	*	!	!
5	1.649	1.341	0.306 !	!	*	!
6	1.723	1.439	0.283 !	!	*	!
7	1.740	1.439	0.301 !	!	*	!
8	1.792	1.969	-0.177 !	*	!	!
9	1.841	2.066	-0.246 !	*	!	!
10	2.054	2.219	-0.165 !	*	!	!
11	2.116	2.141	-0.025 !	!	*	!
12	2.140	1.969	0.171 !	!	*	!
13	2.230	2.508	-0.278 !	*	!	!
14	2.282	2.000	0.283 !	!	*	!
15	2.282	2.052	0.224 !	!	*	!
16	2.389	2.468	-0.079 !	*	!	!
17	2.460	2.547	-0.088 !	*	!	!
18	2.542	2.566	-0.025 !	*	!	!
19	2.565	2.528	0.037 !	!	*	!
20	2.929	2.726	0.203 !	!	*	!
21	3.170	3.268	-0.098 !	*	!	!
22	3.211	2.692	0.519 !	!	*	!

b) Avec les données de Tempore corrigées :
 NOMBRE D'OBSERVATIONS : 25 NOMBRE DE VARIABLES : 10

FICHER DE DONNEES : B:LNTOTICR

	1	2	3	4	5	6	7	8
	LR	KR	P	I	N	DATE	DUREE	PANT
1	2.20	16.00	14.00	24.00	225.30	257	0.58	37.00
2	2.50	31.00	8.00	10.00	143.30	257	0.80	19.50
3	2.50	19.00	13.00	5.00	121.00	243	2.60	16.00
4	3.50	39.00	9.00	12.00	78.80	222	0.75	32.00
5	4.70	29.00	16.00	17.00	93.10	238	0.94	31.00
6	5.70	44.00	13.00	31.00	62.00	248	0.42	20.50
7	5.90	45.00	13.00	14.00	42.40	226	0.93	30.00
8	6.00	30.00	20.00	8.00	5.40	248	2.50	32.50
9	6.30	28.00	22.00	19.00	71.40	263	1.16	8.00
10	6.70	56.00	12.00	29.00	116.00	231	0.41	13.00
11	7.80	32.00	24.50	19.00	62.00	248	1.29	13.00
12	8.30	36.00	23.00	69.00	116.30	231	0.33	4.50
13	8.40	70.00	12.00	40.00	64.20	241	0.30	20.00
14	9.30	30.00	31.00	7.00	67.25	234	4.43	21.50
15	9.80	48.00	20.50	18.00	2.20	245	1.14	36.00
16	9.80	45.00	21.50	37.00	39.30	231	0.58	7.50
17	11.70	37.00	32.00	15.00	68.40	248	2.13	57.50
18	12.90	64.00	20.00	10.00	93.50	238	2.00	32.50
19	13.00	41.00	31.50	9.00	5.00	248	3.50	32.00
20	13.50	42.00	32.50	8.00	67.50	234	4.06	12.00
21	13.80	46.00	30.00	19.00	45.30	224	1.58	12.00
22	13.90	71.00	19.50	12.00	81.50	252	1.63	32.00
23	18.70	51.00	37.00	25.00	5.66	248	1.48	13.00
24	24.80	69.00	36.00	64.00	45.00	245	0.56	13.00
25	25.10	44.00	57.50	16.00	44.80	245	3.59	27.00

- Régression linéaire multiple :

Le modèle progressif donne les résultats suivants :

au seuil 5% : $Lr = 0.5613 P - 1.3788 D - 0.7031$ $r = 0.893$
 au seuil 10% : même expression

On constate que c'est l'aspect "grand" bassin versant, représenté par Tempore avec 10 observations, qui l'emporte, en retenant comme variables explicatives la hauteur de pluie et sa durée. Cette dernière variable n'était d'ailleurs pas suffisamment significative pour le faible nombre d'observations de l'échantillon de Tempore seul.

On constate donc que, selon que l'on corrige ou non les données de Tempore, les variables explicatives changent, passant d'un contexte "petit" bassin à un contexte "grand" bassin (en toute relativité, bien sûr).

- Ajustement à une fonction puissance :

La relation trouvée est : $Lr = 0.261 P^{1.4413}$ $r = 0.833$

Les mêmes observations peuvent être faites sur cette relation. La distribution autour de 0, des résidus centrés réduits est à peu près équilibrée (un point en dehors de l'intervalle -2,+2).

2.3.4.5. Synthèse - Comparaison avec des bassins de référence :

- Facteurs explicatifs de la lame ruisselée :

L'ensemble des résultats obtenus est résumé ci-dessous :

- BIROU :

S = 0.235 km² 11 observations

Seuil 5% : Lr = 0.5162 P + 0.1751 I - 6.2118

r = 0.961

10% : Lr = 0.4405 P + 0.1763 I - 0.0226 N - 2.9723

r = 0.976

- TEMPORE :

S = 2.121 km²

Seuils 5 et 10% :

Données non corrigées : 7 observations Lr = 0.40 (P - 0.11)

r = 0.992

Données corrigées : 10 observations Lr = 0.387 (P - 7.45)

r = 0.928

- Tous bassins confondus :

(BIROU, TEMPORE, SANKONDE S=1.614 km², NANE S=0.791 km²)

* Données de TEMPORE non corrigées : 22 observations

Seuils 5 et 10% :

Lr = 0.4318 P + 0.1031 I - 0.0252 N - 1.331 r = 0.947

* Données de TEMPORE corrigées : 25 observations

Seuils 5 et 10% :

Lr = 0.5613 P - 1.3788 D - 0.7031 r = 0.893

On constate que les variables "P ant" et "Date" n'ont jamais été retenues dans la régression. Il est dommage que l'on n'ait pas pu prendre en compte un indice de pluies antérieures (qui aurait fait intervenir les variables N et P ant), sans doute plus pertinent que la seule pluie antérieure et la position de la pluie dans la saison.

A titre de comparaison, on reproduit ci-dessous la régression obtenue par l'ORSTOM ("Pluies et crues au Sahel : hydrologie de la mare d'Oursi - Burkina Faso. 1976-1981". P.CHEVALLIER, J.CLAUDE, B.POUYAUD, A.BERNARD - ORSTOM 1985) sur

les bassins versants de JALAFANKA et KOLEL (mare d'Oursi : pluviométrie moyenne de 340 à 420 mm/an) dont les caractéristiques suivent :

JALAFANKA :

S = 0.809 km²

Période de mesures : 1977/81 , 42 observations

Grand glacis lié aux cuirasses

Lr = 0.508 P20 + 0.215 IK + 0.848 r = 0.83

KOLEL :

S = 1.05 km²

Période de mesures : 1976/81 , 31 observations

Massif de gabbros particulièrement accidenté, fissuré et couvert de roches décomposées en boules

Lr = 0.322 P20 - 2.081 r = 0.85

où :

P20 : hauteur de pluie tombée avec une intensité supérieure à 20 mm/h

IK : indice de précipitation des pluies antérieures

$$IK = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-0.5 \cdot t_a}$$

IK n : indice des précipitations antérieures immédiatement à l'averse de rang n

P n-1 : hauteur de précipitation de l'averse de rang n-1

t_a : temps en jours séparant la fin de l'averse de rang n-1 du début de l'averse de rang n

Les résultats obtenus sur JALAFANKA semblent pouvoir être rapprochés de ceux de BIROU ou de l'ensemble des bassins, données de Tempore non corrigées : l'importance des facteurs autres que la pluie moyenne semble non négligeable. C'est le cas en particulier pour l'intensité, et dans une moindre mesure pour l'intervalle de temps depuis la dernière pluie. Il semble qu'il s'agisse d'un type de petits bassins versants ruisselant particulièrement bien.

Les résultats obtenus sur KOLEL semblent pouvoir être rapprochés de ceux de TEMPORE, ou de l'ensemble des bassins, données de Tempore corrigées : il ne semble pas qu'il y ait une réelle influence de l'état d'humectation, ni à proprement parler de l'intensité de la pluie (bien qu'elle soit partiellement prise en compte dans la variable P20). La durée de l'averse a cependant une importance, les averses courtes et violentes favorisant le ruissellement. Ces similitudes quant aux facteurs explicatifs du ruissellement ne doivent cependant pas faire oublier les différences d'aptitude au ruissellement, illustrées par la relation lame ruisselée-pluie moyenne étudiée ci-après.

argileux, sur matériau gravillonnaire et sur cuirasse ferrugineuse, et, dans les parties basses, sols bruns eutrophes peu évolués sur matériau argilo-sableux issu des schistes à hydromorphie de profondeur).

(A noter le faible coefficient de corrélation obtenu pour TIKARE I, qui traduit une forte dispersion autour de la courbe de régression)

On peut rapprocher les résultats obtenus sur les bassins versants de BIROU ($S=0.235 \text{ km}^2$) et TIKARE I ($S=0.113 \text{ km}^2$), en notant qu'en principe "Le" surestime la lame ruisselée. Cependant les lames d'eau ruisselées calculées sont nettement plus importantes à BIROU qu'à TIKARE I (attention au faible nombre d'observations).

P (mm)	Lr BIROU (mm)	Le TIKARE I (mm)
20	7.1	2.5
50	27.2	8.22
90	64.2	17.96

TIKARE I est pourtant classé dans la catégorie R6 des indices de relief définis par RODIER (1965) (pentes très fortes: pentes longitudinales supérieures à 5%, pentes transversales supérieures à 20%, région de montagne) (Source : Cahiers ORSTOM série hydrologie. vol XXI, n°2, déjà cité), mais classé R2-R3 dans le recueil de DUBREUIL.

De même, la comparaison des résultats obtenus pour TEMPORE ($S=2.121 \text{ km}^2$) et TIKARE II ($S=2.36 \text{ km}^2$, classé R4) montre une même tendance, à savoir une lame d'eau ruisselée à Tempore, nettement supérieure à celle de Tikaré II.

P (mm)	Lr TEMPORE (mm)	Le TIKARE II (mm)
20	5.4	0.8
50	17.1	5.3
90	32.5	17.75

On peut être tenté, indépendamment des différences liées aux caractéristiques propres des bassins, de voir dans cette différence l'effet du temps, et en particulier de l'érosion (les mesures concernant TIKARE I et TIKARE II datent de la période 63-65).

La comparaison avec les bassins versants déjà cités de la mare d'Oursi, dont les résultats sont plus récents, montre que :

- la réponse du bassin de JALAFANKA semble comparable avec celle de l'ensemble des bassins faisant l'objet de l'étude, en particulier dans le cas des données de TEMPORE non corrigées. Sa taille intermédiaire ($S=0.809 \text{ km}^2$) le rapproche de la moyenne des bassins de l'échantillon (1.05 km^2).

- par contre, la similitude des facteurs explicatifs du ruissellement entre les bassins de KOLEL ($S=1.05 \text{ km}^2$) et TEMPORE ne s'accompagne pas d'une similitude des aptitudes au ruissellement, le lac de KOLEL ayant une réponse beaucoup plus faible.

2.3.4.6. Le calcul de la crue décennale :

- Détermination de la pluie ponctuelle de fréquence décennale :

L'hypothèse de base de la méthode est que la crue de fréquence décennale est engendrée par la pluie de même fréquence.

En théorie, la pluie ponctuelle à prendre en compte serait celle qui donne lieu à un hydrogramme unitaire, c'est à dire une averse dont la durée est inférieure au temps de concentration du bassin.

Dans la zone climatique qui nous intéresse, les fortes averses sont généralement constituées par un corps de courte durée et à forte intensité, suivi d'une traîne à faible intensité. On peut considérer par ailleurs que dans le cas le plus courant, il n'y a qu'une averse par 24 heures.

Ces deux observations conduisent, dans la pratique, à prendre comme pluie ponctuelle de fréquence décennale, la pluie journalière de même fréquence.

Dans la région qui nous intéresse, on retiendra comme pluie journalière de fréquence décennale : $P_{10} = 90 \text{ mm}$ (source : étude des pluies journalières de fréquence rare en Haute-Volta, J.P LAHAYE - CIEH, 1980)

- Détermination du coefficient de ruissellement décennal : K_r

Ce coefficient est déterminé par la relation :

$$K_{r_{10}} = L_{r_{10}} / P_{10} = a P_{10}^b / P_{10} = a P_{10}^{(b-1)}$$

où L_r = lame ruisselée de fréquence décennale

La détermination de L_r peut se faire en utilisant les résultats présentés ci-dessus.

Ces résultats ne peuvent être que provisoires : le faible nombre des mesures exploitables et le manque d'analyses précises des caractéristiques physiques, géomorphologiques et pédologiques des bassins étudiés ne permettent pas en toute rigueur, leur extrapolation.

Cependant, il paraît utile de donner des points de repère qui devront être confirmés ou contredits par les mesures effectuées dans la deuxième année de mesures.

- Pour les petits bassins du type de celui de BIROU :
(S est de l'ordre de 0.1 à 0.5 km²) $Kr_{10} = 0.09 * 90^{0.46} = 71\%$
- Pour les bassins du type de celui de TEMPORE :
(S est de l'ordre de 1.5 à 2.5 km²) $Kr_{10} = 40\%$
- Pour les bassins intermédiaires :
(S est de l'ordre de 1 km²) $Kr_{10} = 0.18 * 90^{0.23} = 50\%$

Nous avons replacé ces résultats dans le tableau donné par RODIER (Cahier ORSTOM série hydrologie XXI n°2, déjà cité) qui représente la variation du coefficient de ruissellement décennal Kr_{10} en fonction de la superficie du bassin versant pour les bassins versants représentatifs étudiés par l'ORSTOM.

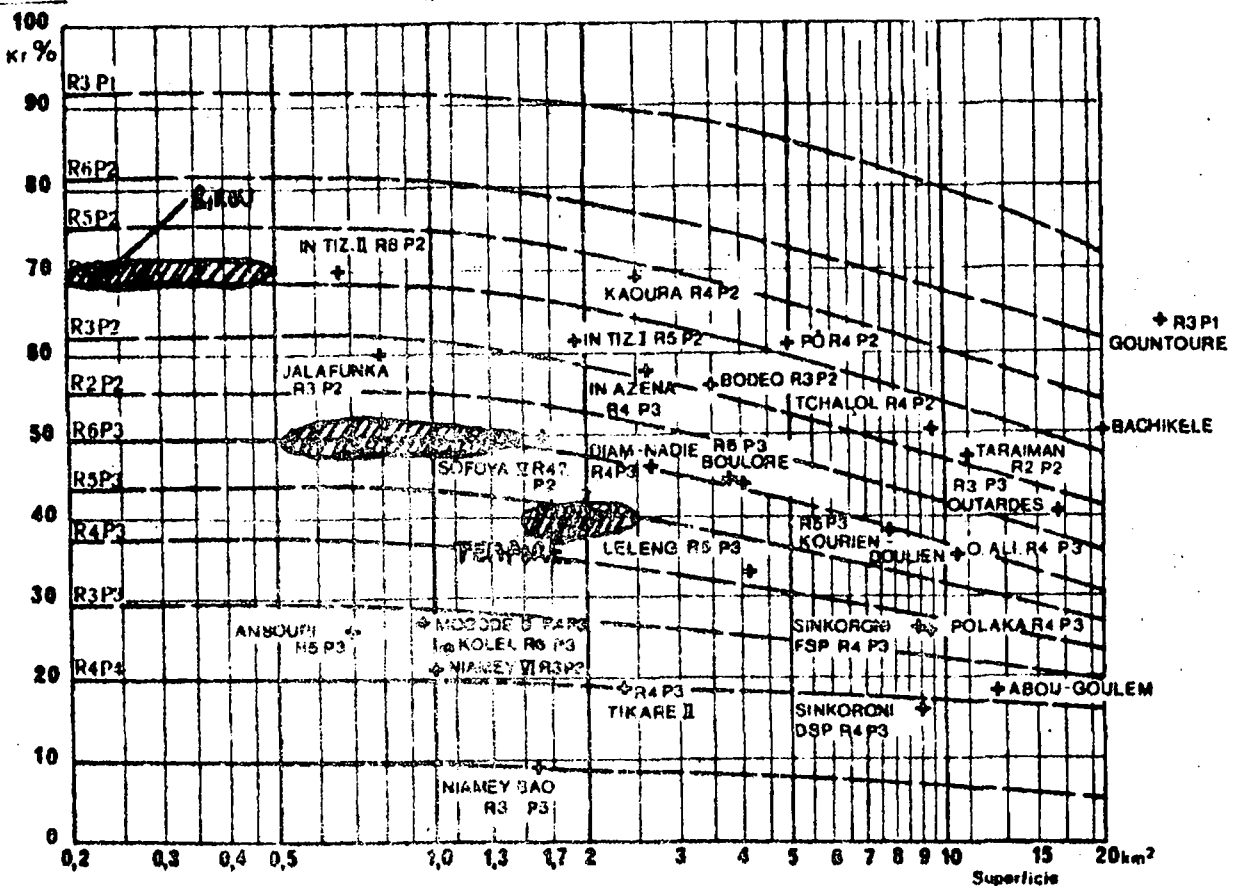


FIG. 5. - Régimes sahéliens et soudanais. Coefficient de ruissellement décennal Kr_{10}

Il serait intéressant, en particulier, de faire l'analyse des classes de relief et de perméabilité des bassins de BIROU et de TEMPORE afin de vérifier si ces classes correspondent à celles indiquées sur ce graphique.

Les paramètres de base retenus pour le calcul sont les suivants :

-Superficie du bassin versant : $S = 1614200 \text{ m}^2$

-Coefficient de ruissellement : la digue est la deuxième d'une série. On a estimé à 6% du volume ruisselé sur le bassin versant la quantité infiltrée à cause de la première digue (cf § 2.3.3.2). Le coefficient K_r du bassin est égal à 40% pour les pluies supérieures à 6 mm. Le coefficient K_r du débit arrivant sur la deuxième digue est donc : $K_r = 40 - (40 \times 0.06) = 37.6 \%$

-Temps de base : le temps de base observé sur la digue (cf fig.2.2.2.a) est d'environ 90 mn. $T_b = 90 \text{ mn}$

-Coefficient de forme de l'hydrogramme : α . En assimilant la forme de l'hydrogramme (cf fig 2.2.2.a et annexe 1.6) à un triangle, on prend $\alpha = 2$.

La formule permettant le calcul du débit maximum (Q_{\max}) occasionné par une pluie P (en mm) de fréquence donnée est :

$$Q_{\max} = \frac{\alpha * K_r * P * S * 10^{-3}}{T_b * 60} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Le tableau suivant résume les résultats obtenus pour différentes fréquences au non dépassement (F), ou période de retour (T). Les pluies correspondantes ont été estimées d'après :

- "Etude des pluies journalières de fréquence rare en Haute-Volta" (J.P LAHAYE - CIEH,1980), pour les périodes de retour $T=10$ à $T=2$
- "Courbes hauteur de pluie-durée-fréquence . Afrique de l'Ouest et Centrale (pour des pluies de 5mn à 24h) " (C.PUECH et D.CHABI-GONNI, CIEH 1984), pour les périodes de retour $T=1$, $T=0.5$, $T=0.2$.

T	F	P (mm)	Q_{\max} (m ³ /s)
10	0.9	90	20.2
5	0.8	79	17.8
4	0.75	76	17.1
3	0.66	70	15.7
2	0.5	62	13.9
1		52	11.7
0.5		41	9.2
0.2		25	5.6

- Vérification de la cohérence des résultats obtenus :

La crue de période de retour $T = 0.2$, qui revient donc en moyenne 5 fois par an, est de 5.6 m³/s, ce qui correspond, en utilisant le graphique de la figure 2.2.6, page II-31, à une hauteur à l'échelle Hécht =154 cm, soit une hauteur de déversement de 14 cm.

En 1986, et pendant la période d'observation (du 20 juillet au 25 septembre), la digue a déversé 6 fois.

date	P (mm)	Héch (cm)	H déversement (cm)	Q (m3/s)
31/7	20	140.5	0.5	3.0
19/8	23	156	16	6.2
26/8	24.5	149	9	4.2
2/9	13	141	1	3.1
5/9	24.5	150	10	4.4
5/9	31.5	160.5	20.5	8.5

On constate que, sur le site de Sankondé et pendant la période d'observation, la pluie de période de retour $T = 0.2$ a été atteinte ou dépassée 3 fois. A Kongoussi, distant d'environ 5km (cf annexe 1.4), et pour toute la saison des pluies, elle a été atteinte ou dépassée 5 fois, de sorte que l'on peut penser que l'ordre de grandeur retenu est correct.

Cette pluie ne donne pas forcément lieu à une crue de même période de retour, étant donné la dispersion des points autour de la courbe (ou droite) de régression $Lr = f(P)$.

La crue de 5.6 m3/s calculée comme étant la crue de période de retour $T = 0.2$, a été atteinte ou dépassée 2 fois pour le site de Sankondé, et pendant la période d'observation. Cependant, si l'on se réfère à la pluviométrie de Kongoussi avant le 20/7, on compte deux ou trois pluies (22.5 mm le 12/6, 33.5 mm le 19/6 et 24 mm au début de juillet) susceptibles d'avoir provoqué une crue de cet ordre de grandeur.

L'ordre de grandeur retenu pour la crue de période de retour $T = 0.2$ ou cinq fois par an en moyenne, semble donc relativement cohérent avec les observations réalisées sur le terrain en 1986.

- Evaluation du dimensionnement de la digue de Sankondé :

- Hauteur de déversement admissible :

La valeur du débit de crue acceptable sur une digue dépend de la hauteur de déversement admissible sans occasionner de dégâts. L'AFVP admet (cf lère partie) un déversement de 10 cm. On a vu (paragraphe 2.2.4.3) que l'étude de cette hauteur admissible restait à faire, en fonction des caractéristiques de dimensionnement et de poids des matériaux utilisés.

Cependant, on peut noter que, en 1986, la digue de Sankondé a supporté deux déversements supérieurs à 10 cm :

16 cm le 19/8

20 cm le 5/9

sans que les dégâts n'aient été, du moins apparemment, suffisamment importants pour être notés.

- Dépôts solides :

La digue de Sankondé a été construite en 1985. Elle a donc connu deux saisons des pluies. La hauteur des dépôts solides mesurés à l'amont et au pied de la digue pendant l'hivernage 1986 est de 42.1 mm (du 23/7 au 26/9), plus 79 mm de matière organique végétale destinés à se décomposer. On peut donc estimer à 10 cm par saison le comblement au point le plus bas de la digue, soit 20 cm en deux ans. Ce chiffre est confirmé par les analyses de sol effectuées à l'amont de cette digue et dont les résultats seront exposés plus loin.

Ce comblement entraîne une diminution de la surface de filtration qu'il est difficile de chiffrer. On peut estimer, à partir des graphiques de l'annexe 1.7, que la surface de filtration initiale était supérieure d'environ 20% à la surface actuelle, soit une surface à 1.40 m d'échelle de 48 m² au lieu de 40, filtrant un débit $Q_f(1.40) = 3.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (en utilisant la relation établie au paragraphe 2.2) à la mise en service de la digue.

Le tableau suivant donne le débit total pour lequel la digue aurait été dimensionnée en fonction de la hauteur H_d de déversement admissible retenue, calculé par la formule :

$$Q_t = Q_f(1.40) + Q_f + Q_d$$

$$Q_t = 3.8 + Q_f + Q_d$$

H_d (cm)	ΔQ_f (m ³ /s)	Q_d (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)
10	0.4	1	5.2
12	0.46	1.45	5.7
15	0.5	2.4	6.7
20	0.5	4.7	9.0
21	0.5	5.3	9.6
24	0.5	7.4	11.6
25	0.5	7.8	12.1

- Résultats :

Il faut donc admettre un déversement sans dommage de :

- 12 cm pour passer un débit de crue de durée de retour $T=0.2$
- 20-21 cm -- -- -- $T=0.5$
- 24 cm -- -- -- $T=1$

Cela veut dire que, quelle que soit la lame déversante admissible dans la plage de 0 à 25 cm, il faut s'attendre, statistiquement parlant, à effectuer des réparations sur la digue tous les ans si l'on veut la conserver en état.

A contrario, on peut essayer de calculer la hauteur qui serait nécessaire pour passer des débits de différentes périodes de retour avec un déversement autorisé de 10 cm qui représente la norme indiquée. Cela nécessite un certain nombre d'hypothèses :

- augmentation de la longueur déversante en fonction de la hauteur de la digue : 1m pour 10 cm de hauteur
- conservation de la courbe débit = f(lame déversante) par unité de longueur de digue
- utilisation de la formule $A_f = 5.53 + 11.27 Q_f$ donnant la surface de filtration en fonction du débit

Dans ces conditions, la hauteur h de digue nécessaire pour passer le débit de crue Q de période de retour T serait :

- pour $T = 1$ $Q = 11.7 \text{ m}^3/\text{s}$ $h = 2 \text{ m}$
 - pour $T = 2$ $Q = 13.9 \text{ m}^3/\text{s}$ $h = 2.35 \text{ m}$
- (hauteur de la digue en place à Sankondé = 1.40 m)

Dans le cas $T = 2$, on devrait s'attendre à effectuer des réparations sur la digue en moyenne tous les deux ans.

- Validité d'un dimensionnement initial :

Etant donné que les digues sont destinées à se combler progressivement à l'amont par l'accumulation de dépôts solides, on peut se demander quelle est la durée pendant laquelle le dimensionnement initial, alors que la surface de filtration était maximale, est valable.

En fait, l'accumulation de dépôts solides à l'amont doit, à terme, créer un champ d'épandage à l'amont de la digue qui ralentit l'écoulement et favorise l'infiltration.

Cependant, les modifications de l'hydrogramme de crue qui en résultent, sont négligeables devant l'influence du comblement sur la hauteur de déversement. Il faut donc prévoir un surdimensionnement pour compenser cette diminution de la surface de filtration ou prévoir un réhaussement de la digue au fur et à mesure du comblement ou le traitement du bassin versant (création de diguettes antiérosives).

Conclusion :

Cette évaluation est, bien entendu, à prendre avec précautions, étant donné le nombre d'hypothèses et d'extrapolations faites. Elle donne néanmoins une indication sur la tendance au sous-dimensionnement mise en évidence par les mesures et calculs précédents. Le point principal reste de savoir quelle lame d'eau déversante il est permis de tolérer sur ce genre d'ouvrages.

2.3.4.8. Recommandations :

Les recommandations que l'on peut faire pour la deuxième année de mesures sont les suivantes :

- En ce qui concerne les sites étudiés, il y aura lieu :

- de reprendre le cas du barrage de Yougounini, afin de déterminer la cause des très faibles résultats obtenus par rapport aux autres sites.

- de procéder à l'étude des caractéristiques des bassins versants : forme, pentes, réseau hydrographique, géomorphologie et pédologie, occupation des sols.

- de continuer les mesures en ayant soin d'étudier plus en détail le tarissement des retenues entre deux crues de façon à déterminer de manière plus fiable la hauteur d'eau immédiatement avant la crue, de façon à augmenter le nombre d'observations des échantillons.

- Pour les sites retenus au début de l'étude mais dont les résultats n'étaient pas exploitables : (Denguilga, Baribsi, Hamdallay)

- procéder au levé topographique de la retenue si celui-ci n'a pas été fait.

- vérifier que l'échantillon de bassin couvre une gamme de superficie suffisamment étendue pour permettre de quantifier l'influence de ce facteur sur le coefficient de ruissellement.

- caractériser les bassins versants en question sur le plan topographique, géomorphologique et occupation des sols.

- former les observateurs de façon que les mesures soient suffisamment fiables.

date	P mm	I mm/h	Hav cm	Hap cm	Vr m ³	Lr	Vp m ³	Kr
10-8	9	12	92	101	833	3.5	2115	.39
14-8	6.5	--	87	92	447	1.9	1528	.29
19-8	21.5	37	90	114	2297	9.8	5053	.45
22-8	31	7	106	128	2174	9.3	7285	.3
26-8	16	17	118	129	1097	4.7	3760	.29
31-8	13	5	118	124	593	2.5	3055	.19
2-9	36	64	120	173	5842	24.8	8460	.69
2-9	20.5	18	173	192	2302	9.8	4818	.48
5-9	13	31	179	190	1329	5.7	3055	.44
5-9	37	25	190	224	4407	18.7	8695	.51
14-9	14	24	193	197	518	2.2	3290	.16
20-9	22	19	180	192	1469	6.3	5170	.28

TABLEAU 2.3.1.a : BIROU

volume maximum de la retenue:19800 m³surface du bassin versant:235010 m² +/- 10%

hauteur de deversement:218 cm à l'échelle

date	P mm	I mm/h	Hav cm	Hap cm	Vr m ³	Lr	Vp m ³	Kr
-A-								
12-8	30	19	53	93	23105	10.9	63641	.36
14-8	13	14	73	93	11906	5.6	27578	.43
19-8	12	29	78	96	10948	5.2	25456	.43
22-8	32.5	8	82	125	26846	12.7	68944	.39
26-8	20	10	110	137	18058	8.5	42427	.43
31-8	27	58	135	139	(2804)		57277	(.05)
2-9	57.5	16	128	195	50454	23.8	121978	.41
5-9	32	15	180	210	24907	11.7	67884	.37
							Kr=0.4	
-B-								
12-8	30	19	42	93	29265	13.8	63641	.46
14-8	13	14	72	93	12466	5.9	27578	.45
19-8	12	29	72	96	14308	6.7	25456	.56
22-8	32.5	8	79	125	28635	13.5	68944	.42
26-8	20	10	95	137	27272	12.9	42427	.64
29-8	12	40	115	141	17791	8.4	25456	.7
31-8	27	58	121	139	(12616)		57277	(.22)
2-9	57.5	16	124	195	53257	25.1	121978	.44
5-9	32	15	180	210	24907	11.7	67884	.37
8-9	19.5	12	192	226	29526	13.9	41367	.71
14-9	8	10	204	210	5335	2.5	16971	.31
18-9	8	10	200	220	(17785)		16971	

TABLEAU 2.3.1.b: TEMPORE

volume maximum de la retenue:163000 m³surface du bassin versant:2121360 m² +/- 10%

hauteur de deversement:240 cm à l'échelle

-A-:calculs effectués sans tenir compte de l'augmentation du niveau de l'eau pendant les 30 premières minutes après le début de la pluie

(Hav:Havant=H mesurée 30 minutes après le début de la pluie)

-B-:calculs effectués après estimation de Hav au début de la pluie

date	P mm	I mm/h	Hav cm	Hap cm	Vr m ³	Lr mm	Vp m ³	Kr
31-7	(14)	(24)	25	38	257	.22	16421	.016
7-8	28.5	11	22	50	571	.49	33429	.017
10-8	12	9	42	44	42	.036	14075	.003
12-8	25	9	40	60	437	.37	29323	.015
14-8	5.5	8	56	60	89	.076	6451	.014
19-8	(22)	(40)	48	70	508	.47	(25804)	(.02)
22-8	23	6	63	73	248	.21	26977	.009
26-8	17.5	8	64	73	223	.19	20526	.011
29-8	10.5	13	67	70	75	.064	12316	.006
31-8	15.5	4	65	73	198	.17	18180	.011
2-9	40	48	69	118	1337	.14	46917	.028
2-9	22	16	118	140	689	.59	25804	.027
5-9	14	21	133	135	63	.054	16421	.004
5-9	37.5	7	134	170	1226	.1	43985	.028
8-9	13	34	162	165	105	.089	15248	.007
21-9	19	25	(133)	158	(156)	.13	22286	(.007)

TABLEAU 2.3.1.c : YOUNOUNINI
 volume maximal de la retenue:4158 m³
 surface du bassin versant:1172930 m²
 hauteur de déversement:173 cm à l'échelle

Sankonde date	P mm/h	I mm/h	H ech max cor (cm)	Vr m ³	Lr	Vp m ³	Kr
19-8	23	69	156	13344	8.3	37127	.36
2-9	13	--	141	10296	6.4	20985	.49
5-9	24.5	19	150	12592	7.8	39548	.32
5-9	31.5	9	160 .75	20965	13	50847	.41
							Kr=0.4
			Hech max				
Nane 5-9	20	8	84	4760	6	15821	.3

TABLEAU 2.3.2: Détermination du coefficient de ruissellement
 des bassins versants de digues filtrantes de
 SANKONDE: bassin versant de 1614200 m²
 NANE: bassin versant de 791050 m²

2.4. EVALUATION DE L'INFILTRATION A L'AMONT DES DIGUES FILTRANTES :

2.4.1. Objectif de la mesure :

Il s'agit d'évaluer l'efficacité pour les cultures et pour la lutte contre l'érosion de ce type d'ouvrages, et d'indiquer, le cas échéant, la possibilité de recharge d'une éventuelle nappe phréatique .

2.4.2. Méthode utilisée :

2.4.1. Principe :

Rappels :

La rétention de l'eau dans le sol résulte à la fois des forces de capillarité et des forces d'adsorption dues aux particules solides. Cette rétention est d'autant plus forte que le sol est sec. L'humidité du sol peut donc être mesurée par la quantité d'énergie qu'on est obligé de fournir (pression, centrifugation) pour extraire l'eau du sol. Cette quantité d'énergie est appelée potentiel matriciel, et peut s'exprimer (en termes de pression) par la force qu'il faudrait appliquer à 1 cm² de sol pour extraire 1 cm³ d'eau. On donne en général comme représentation du potentiel matriciel le logarithme décimal de cette pression :

$$pF = \log_{10} \psi_m$$

ψ_m : potentiel matriciel exprimé en cm de colonne d'eau

Si l'eau du sol se trouve en équilibre avec la pression atmosphérique (1000 cm CE), $pF = 3$, donc, en première approximation, l'eau de gravité circulant dans les macropores du sol a un $pF < 3$, l'eau capillaire retenue dans le sol a un $pF > 3$.

Lors d'une pluie, ou lors du passage d'une crue qui est retenue par une digue filtrante, l'eau s'infiltré et le sol se trouve donc à saturation. Après la pluie ou le passage de la crue, le sol se "ressuie" sous l'effet de la pesanteur. Lorsque toute l'eau de gravité a ainsi été évacuée, l'humidité du sol se stabilise à une valeur qui correspond à la capacité de rétention, ou capacité au champ. Cette valeur dépend de la texture du sol.

Du fait de l'absorption de l'eau par les plantes et de l'évaporation, le sol continue à s'assécher. Au fur et à mesure que le taux d'humidité baisse, la plante doit dépenser de plus en

plus d'énergie pour satisfaire ses besoins en eau. A partir d'un certain point, et bien qu'il reste encore de l'eau dans le sol, la plante est incapable de fournir l'énergie nécessaire pour extraire cette eau et meurt. Le taux d'humidité correspondant à cette limite est appelé taux d'humidité au point de flétrissement. Il correspond en général à la valeur $pF = 4.2$.

Le tensiomètre est un appareil permettant de suivre la variation de potentiel matriciel, correspondant à la pression de succion exercée par le sol sur l'eau. Il est constitué (cf présentation des types de tensiomètres utilisés en annexe 3.1) d'une bougie poreuse enfouie dans le sol à étudier, reliée par un tube rempli d'eau à un manomètre à vide. On mesure sur ce manomètre une indication de la pression de succion P_s , exprimée en cbars, exercée par le sol sur l'eau du densimètre. Compte tenu de la rusticité de ce genre d'appareil, des modifications du milieu qu'il entraîne et de l'impossibilité de l'étalonner, on ne peut considérer qu'il donne une valeur absolue de P_s . Par contre, il est possible de l'utiliser pour connaître l'ordre de grandeur et suivre les variations de l'humidité du sol.

La relation entre pression de succion P_s en cbars et potentiel matriciel ψ_m exprimé en cm de colonne d'eau s'écrit :

$$\psi_m = 10.P_s$$

(cm) (cbars)

P_s : pression (négative) de succion ($P_s < 0$)

et on a donc : $pF = \log_{10} (-10.P_s)$

Il faut donc connaître la courbe $pF = f(H)$, où H est le taux d'humidité (volumique : volume d'eau / volume de sol) pour relier P_s à l'humidité du sol. Cette courbe dépend de la texture du sol et nécessite donc des analyses de sol en laboratoire.

Principe de la mesure :

Sur trois sites de digues, on a placé deux séries de tensiomètres mesurant l'humidité à des profondeurs différentes, l'une à l'amont de la digue, l'autre à l'aval. On espère ainsi évaluer l'impact de la digue sur l'évolution de l'humidité du sol, donc sur l'infiltration.

2.4.2.2. Localisation des mesures :

Les tensiomètres ont été mis en place à la mi-Août sur les 3 sites suivants :

-Sankondé : la digue équipée est située dans une ravine située non loin de la digue déjà étudiée précédemment (Sankondé-seuil). C'est la plus à l'amont d'une série de trois digues, elle a été construite en 1984.

-Nané : la digue équipée est située immédiatement à l'aval de la digue déjà étudiée, dans la même ravine.

-Gonsé : la digue équipée est la deuxième, en partant de l'amont, d'une succession de plusieurs petites digues (cf annexe 1.2 pour la localisation de Gonsé).

2.4.2.3. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés :

Les mesures n'ont pu commencer qu'à la mi-Août, les tensiomètres n'ayant pu être livrés avant le début des pluies. Après quelques jours de fonctionnement, les tensiomètres de Gonsé ont été déplacés. Le 15 Septembre, quelques tensiomètres ont été transportés sur d'autres sites sans digue pour comparer l'humidité des terres et leur régime de dessèchement. Les résultats de cette comparaison n'étant pas assez complets, ils n'ont pu être présentés.

L'usage des tensiomètres est adapté aux succions variant entre 0 et -50 cbars. La précision des mesures diminue considérablement au delà, et pour les fortes valeurs (-70 à -80 cbars), de l'air s'introduit dans les tensiomètres. La conception du modèle utilisé (cf annexe 3.1) rend possible l'évacuation rapide de l'air.

Il n'a pas été possible de procéder à des analyses de sols permettant le tracé de la courbe $pF = f(\text{humidité})$ pour les digues équipées de tensiomètres. On se reportera dans la suite, aux analyses effectuées sur des échantillons de sols prélevés à l'amont de la digue de Sankondé-seuil.

2.4.3. Résultats obtenus :

Les résultats obtenus sont présentés sur les graphiques des figures 2.4.1, page II-72. On a fait figurer :

- la courbe de variation dans le temps de la tension de succion mesurée par les tensiomètres à différentes profondeurs.
- les pluies : hauteur en mm et intensité moyenne en mm/h

-Sankondé : (figures 2.4.1.a et 2.4.1.b, page II-72)

On constate une grande différence entre l'amont et l'aval de la digue :

.A l'aval :

- le tensiomètre placé à 40 cm de profondeur indique en permanence une tension de succion de l'ordre de 70 à 80 cbars, ce qui, compte tenu des indications fournies précédemment sur le fonctionnement des tensiomètres, indique que le sol est sec.
- à 14 cm de profondeur, on observe une réaction, lente, aux pluies. Il faut des pluies rapprochées, comme celles du 1 et du 4 Septembre, pour faire baisser la succion à un niveau de 20 à 30

cbars, ce qui correspond à peu près, on le verra plus loin, à la capacité de rétention. Après cette baisse, et en l'absence de nouvelles pluies, le sol se dessèche rapidement.

.A l'amont :

-on constate que les tensiomètres placés à 16 et 40 cm de profondeur indiquent en permanence un niveau d'humidité (10 à 30 cbars) compris entre la saturation et la capacité de rétention.

-à 70 cm, le sol réagit très rapidement aux pluies rapprochées du 1er (23 mm) et des 4-5 (72 mm) Septembre : la succion, qui était de 70 à 80 cbars, tombe en deux jours à 20 cbars, pour remonter ensuite lentement.

Cette réaction ne se manifeste pas à l'aval à 40 cm mais ne se fait sentir qu'à 14 cm de profondeur.

A noter également la petite réaction, à 70 cm de profondeur, à la pluie (de 16.5 mm) du 21 Septembre, alors que le sol se dessèche en fin de saison.

-Par contre, à cette profondeur de 70 cm, le sol est resté sec depuis le début des mesures (le 18 Aout) jusqu'au 6 Septembre. Les pluies de cette période (pluies isolées de 20 à 30 mm) et les crues correspondantes n'ont pas suffi pour que l'humidité atteigne cette profondeur.

-Enfin, on constate que, en fin de saison, le sol se dessèche plus vite en profondeur qu'en surface.

-Nané : (figure 2.4.2, page II-73)

On n'a pas constaté de différence notable dans l'évolution des taux d'humidité du sol à l'amont et à l'aval de la digue : on n'a donc fait figurer sur le graphique que les résultats obtenus à l'amont.

Les tensiomètres ont été placés à des profondeurs plus importantes qu'à Sankondé : 60 cm pour le superficiel, 1.95 m pour le plus profond.

-On constate que l'assèchement, contrairement au site de Sankondé, se produit d'abord en surface : 60 cm à partir de début octobre, puis 90-120 cm vers le 15 octobre. A 2 m de profondeur, le sol reste constamment à un taux d'humidité de l'ordre de la capacité de rétention.

-Par rapport au site de Sankondé, où l'assèchement se produit, d'abord en profondeur (70 cm) puis en surface (16-40 cm) à partir de la mi septembre, la capacité d'infiltration ou de rétention de l'eau est plus importante.

-Enfin, on peut noter la réaction à une pluie de 16 mm le 21 Septembre jusqu'à 1.20 m de profondeur.

-Gonsé : (figures 2.4.3.a et 2.4.3.b)

Les différences entre amont et aval sont moins marquées qu'à Sankondé mais peuvent être remarquées :

.A l'amont :

Les tensiomètres ont été placés à 60, 90, 120 cm de profondeur.

-L'assèchement se produit d'abord en surface (à 60 cm à partir du 1er Octobre, comme à Nané), puis en profondeur (90-120 cm à partir du 15 Octobre environ).

-On observe une réaction rapide, jusqu'à 60 cm au moins, à la pluie de 17 mm du 21 Septembre. L'humidité y est maintenue à une valeur proche de la saturation jusqu'au 1er Octobre par les deux pluies suivantes de 10 et 7 mm.

.A l'aval :

La différence de comportement avec l'amont de la digue n'est pas aussi marquée qu'à Sankondé. L'assèchement à l'aval se produit à peu près à partir du même moment à 50 cm de profondeur, mais la réaction à cette profondeur à la pluie du 21/09 est moins forte qu'à l'amont (l'assèchement en surface était moins avancé et l'humidité ne s'accroît pas autant qu'à l'amont).

2.4.4. Discussions :

2.4.4.1. Les limites de l'expérimentation :

L'objectif de ces mesures était d'évaluer l'impact des digues sur l'infiltration de l'eau :

- pour l'usage agricole
- pour une éventuelle recharge de nappe

Malgré le faible nombre de mesures, il est possible de montrer que, sur le plan de l'infiltration dans les couches superficielles (agricoles) du sol, l'impact des digues filtrantes est tout à fait positif.

Pour l'évaluation de l'impact des digues sur la recharge des nappes, les résultats obtenus sont tout à fait partiels. Il aurait fallu pour cela effectuer une étude systématique de la zone avec des dispositifs de mesures comprenant des piézomètres, ce qui aurait nécessité des moyens mécaniques beaucoup plus importants, ainsi qu'une étude géomorphologique permettant d'interpréter les résultats sur les différents sites.

On peut néanmoins proposer les interprétations suivantes.

2.4.4.2. Interprétation des résultats :

- Différences amont-aval :

On n'a constaté des différences notables entre l'amont et l'aval de la digue que sur le site de Sankondé. A cette situation, on peut proposer plusieurs interprétations :

-Les digues ont un effet sur l'infiltration, non seulement à l'amont, mais également à l'aval, et ce d'autant plus qu'elles sont plus anciennes : le ralentissement du ruissellement à

l'amont et l'augmentation de l'infiltration se font également sentir à l'aval. Ce pourrait être le cas à Nané, où la digue date de 1981 et est une digue aval.

-L'aval de la digue considérée est en fait l'amont de la digue suivante : c'est le cas du site de Gonsé (mais c'est également le cas de Sankondé, où l'on observe une nette différence entre amont et aval).

-Les piézomètres ont, en général, été placés dans l'axe de l'ancienne ravine. Il est probable que, malgré l'effet de la digue en surface, des écoulements préférentiels continuent, soit au pied de la digue, soit sous la surface du sol, qui font que les piézomètres placés à l'aval ne sont pas représentatifs du comportement témoin recherché. Il faudra donc les déplacer sur le côté pour la prochaine campagne.

- Différences entre Sankondé et Nané :

On a constaté que l'assèchement à Sankondé est plus précoce qu'à Nané et Gonsé, et que, d'une manière générale, la capacité de rétention semble moins bonne. Si l'on considère que les variations de nature du sol apporté derrière les digues par l'érosion sont négligeables (hypothèse à vérifier), cette observation peut être interprétée de plusieurs manières :

- La digue de Nané est plus ancienne que celle de Sankondé (mais ce n'est pas le cas pour Gonsé). L'épaisseur de sol reconstitué à l'amont, plus argileux que le sol d'origine érodé qui se trouve en dessous, et qui joue le rôle de réservoir pour l'eau d'infiltration, est donc plus important à Nané qu'à Sankondé.

- La position de la digue dans une succession joue également un rôle important dans la capacité d'infiltration : la digue de Sankondé est la plus en amont d'une série de trois. Celles de Nané et Gonsé sont des digues retirées à l'aval d'autres digues qui ont permis de ralentir les écoulements et d'augmenter le temps disponible pour l'infiltration.

- enfin, les conditions topographiques et le type de construction jouent également : le bassin versant est plus petit (d'environ 25%) que celui de Nané, mais moins cultivé et plus accidenté. En première approche, on peut supposer que les volumes écoulés sont de même ordre de grandeur. La digue de Sankondé fait 135 m de long, celle de Nané 93 m. Dans ces conditions, le même volume d'eau s'étale sur une superficie plus importante à Sankondé qu'à Nané.

Le bassin versant de Gonsé est, lui, beaucoup plus petit que celui de Sankondé. Cette petite digue est construite avec des pierres plus petites, ce qui diminue la vitesse de filtration et augmente le temps d'infiltration.

- Possibilités de recharge de nappes :

On a constaté qu'à Sankondé, l'assèchement du sol à la fin de la saison des pluies se fait d'abord sentir en profondeur, puis en surface. On a vu également que, sur cette digue, le sol est sec, ou est redevenu sec, à 70 cm de profondeur, au 5 Septembre. Il est probable que cette digue ne contribue pas à la recharge d'une quelconque nappe souterraine.

Par contre, à Nané, on a observé qu'à 2 m de profondeur, le sol est pratiquement à la capacité de rétention de manière permanente pendant toute la période d'observation, et cela pendant au moins un mois après la deuxième pluie, alors que les horizons superficiels se sont asséchés, en commençant par les moins profonds. Dans ce cas, il est possible qu'il y ait contribution à la recharge d'une nappe. En l'absence d'observations piézométriques et de coupe géomorphologique du site, il est difficile d'en dire plus.

Le cas de Gonsé est intermédiaire entre Sankondé et Nané. Le dessèchement commence par le haut, comme à Nané, mais le sol est sec à 120 cm de profondeur à la fin d'Octobre.

Ces quelques constatations confirment la nécessité d'une étude beaucoup plus systématique de ce problème et laissent entrevoir que les résultats en seraient sans doute assez variables, dépendant :

- de facteurs d'infiltration identifiés ci-dessus
- de la configuration géomorphologique de chaque site.

- Evaluation de l'alimentation en eau des cultures :

Les courbes obtenues montrent qu'à l'amont des digues et sur les trois sites, la valeur de la tension de succion se maintient, dans la zone explorée par les racines (au moins jusqu'à 40 cm à Sankondé, jusqu'à 1.20 m à Nané et Gonsé), autour de 10 à 20 cbars jusqu'aux dernières pluies.

En admettant que les tensiomètres permettent de donner un ordre de grandeur de l'humidité, cette valeur de la succion correspond à un pF inférieur à 2.5, donc sans doute à une humidité supérieure à la capacité au champ. Les cultures disposent donc pratiquement en permanence, à une profondeur variable, d'une réserve en eau utilisable même si les horizons superficiels se dessèchent temporairement.

Il faudrait pouvoir disposer de mesures d'humidité de ces sols et à ces profondeurs pour pouvoir établir la courbe humidité = $f(pF)$ et quantifier l'ordre de grandeur de cette réserve, et éventuellement, adapter les espèces ou variétés cultivées au régime hydrique des sols (possibilités d'engorgement temporaire dans les zones basses, comme à Gonsé en particulier).

FIGURE 2.4.1.a : Sankondé - tensiomètres : succion en amont de la digue (année de construction de la digue : 1984)

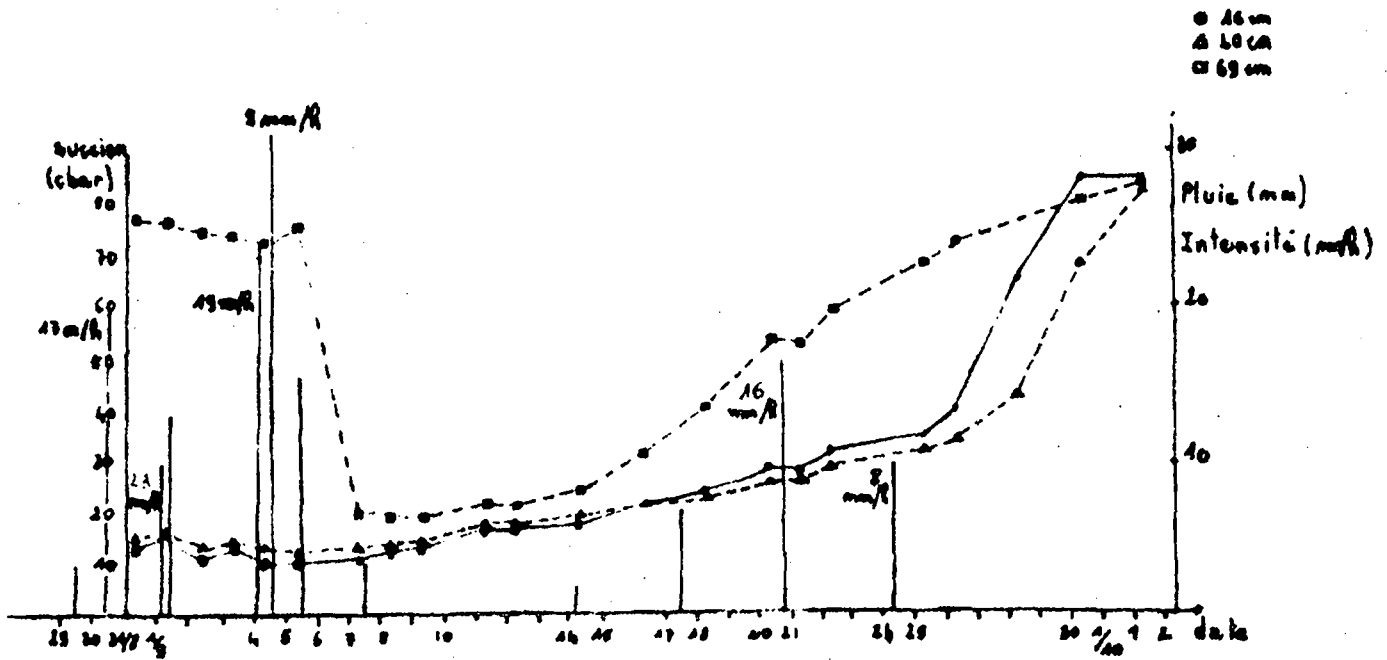


FIGURE 2.4.1.b. : Sankondé - tensiomètres : succion en aval de la digue.

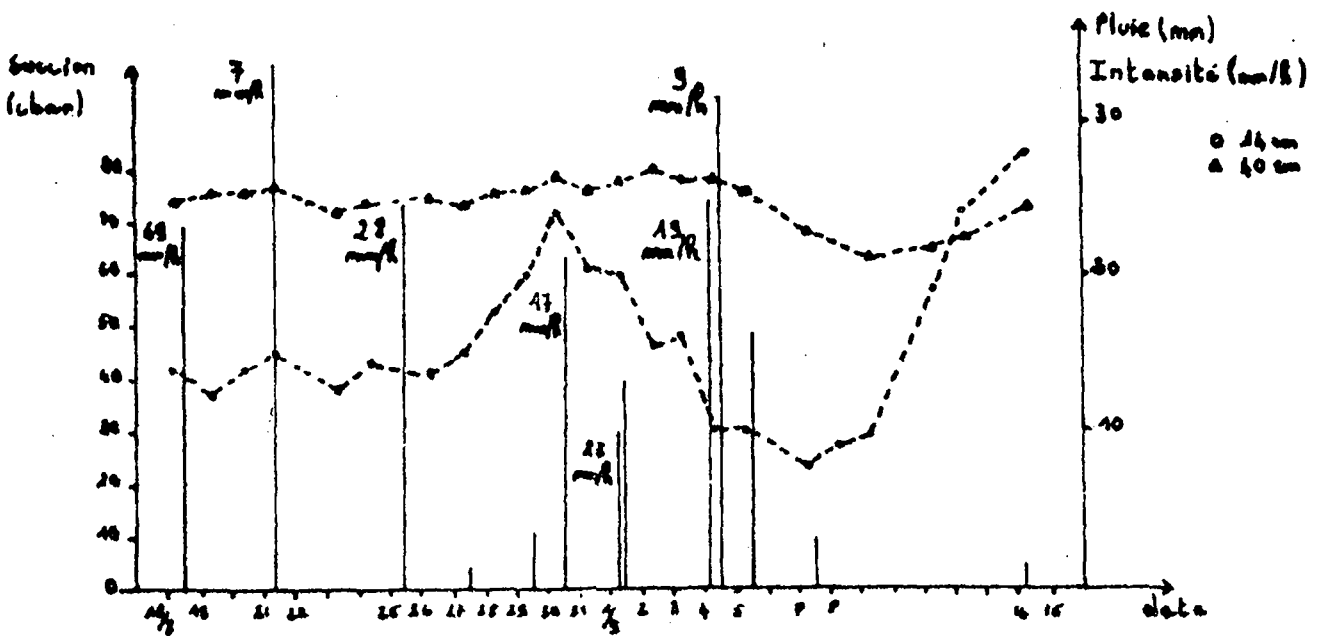


FIGURE 2.4.2. : Nané-tensiomètres : succion en amont de la digue
(année de construction : 1981)

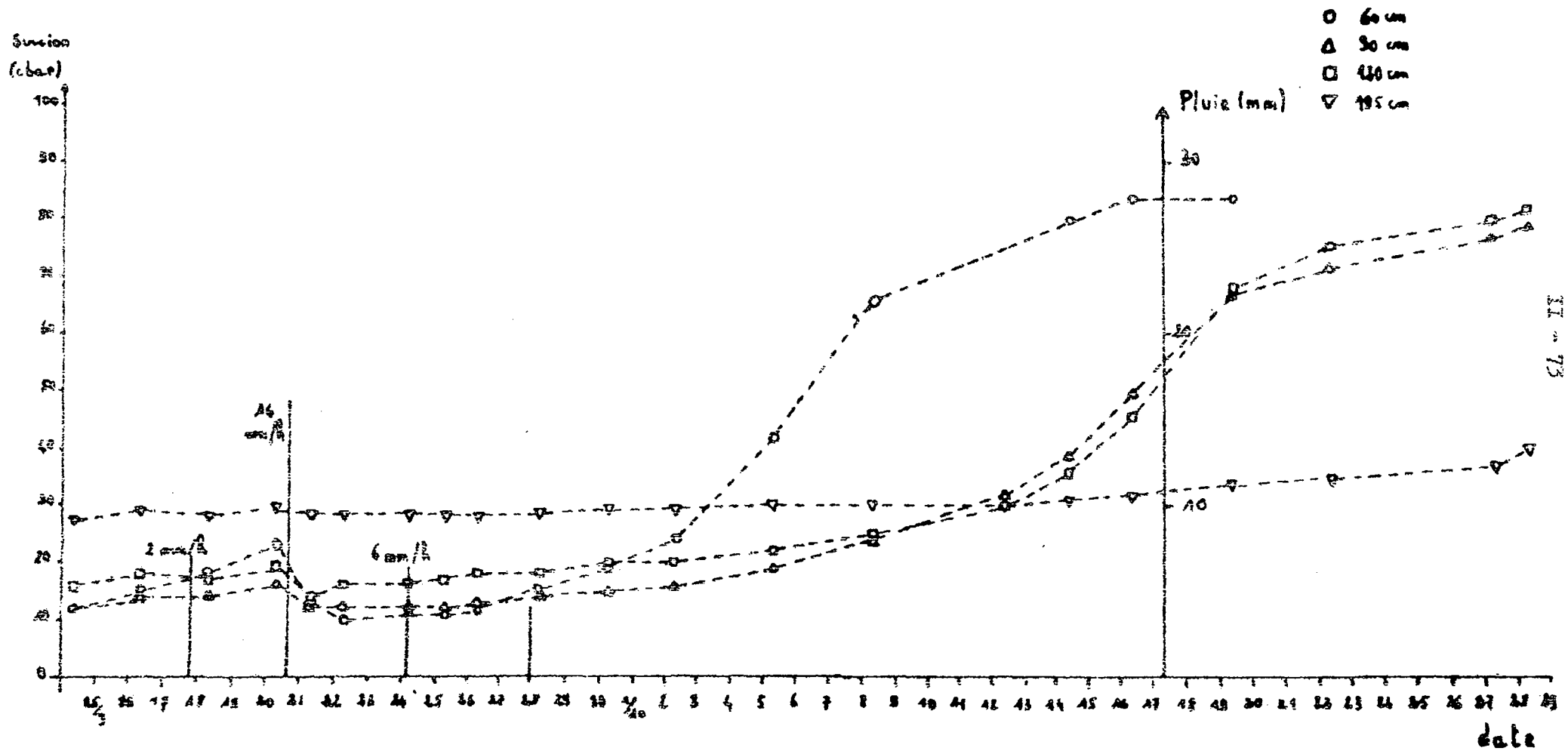


FIGURE 2.4.3.a : Gonsé-tensionnètres - succion en amont de la digue
(année de construction de la digue : 1985)

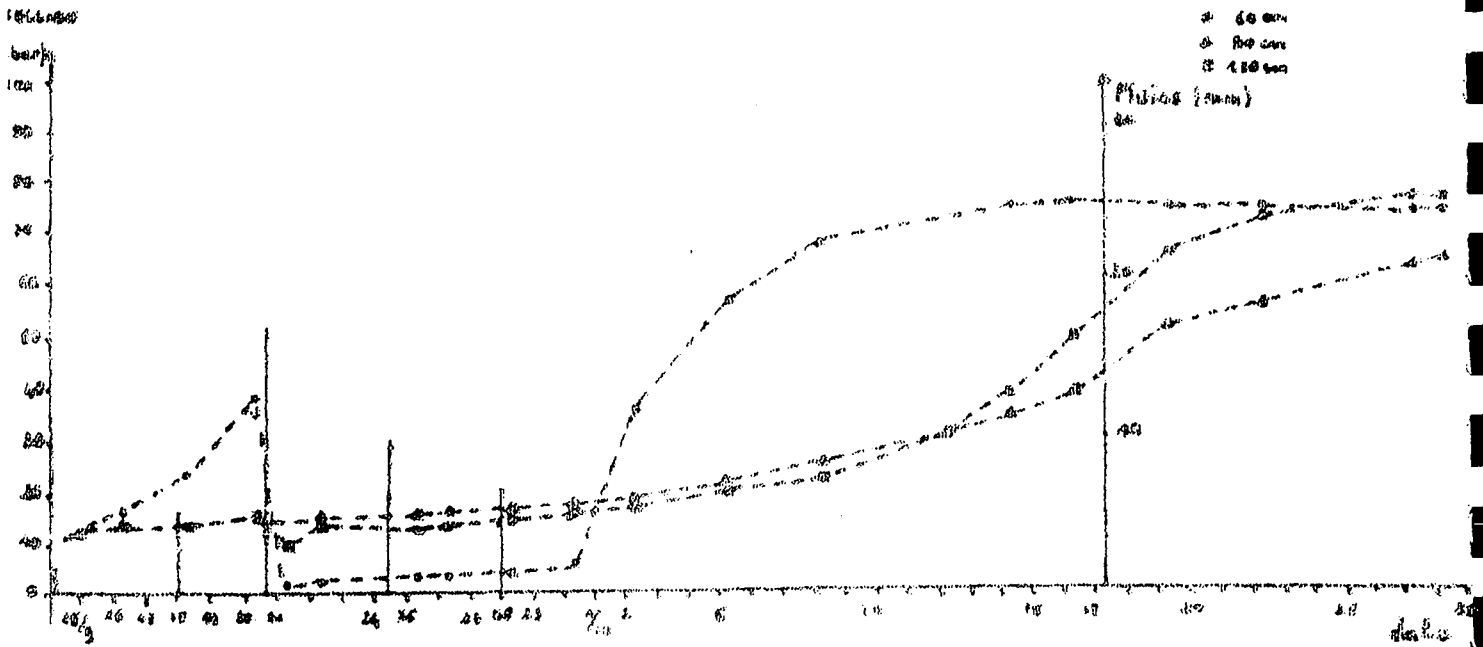
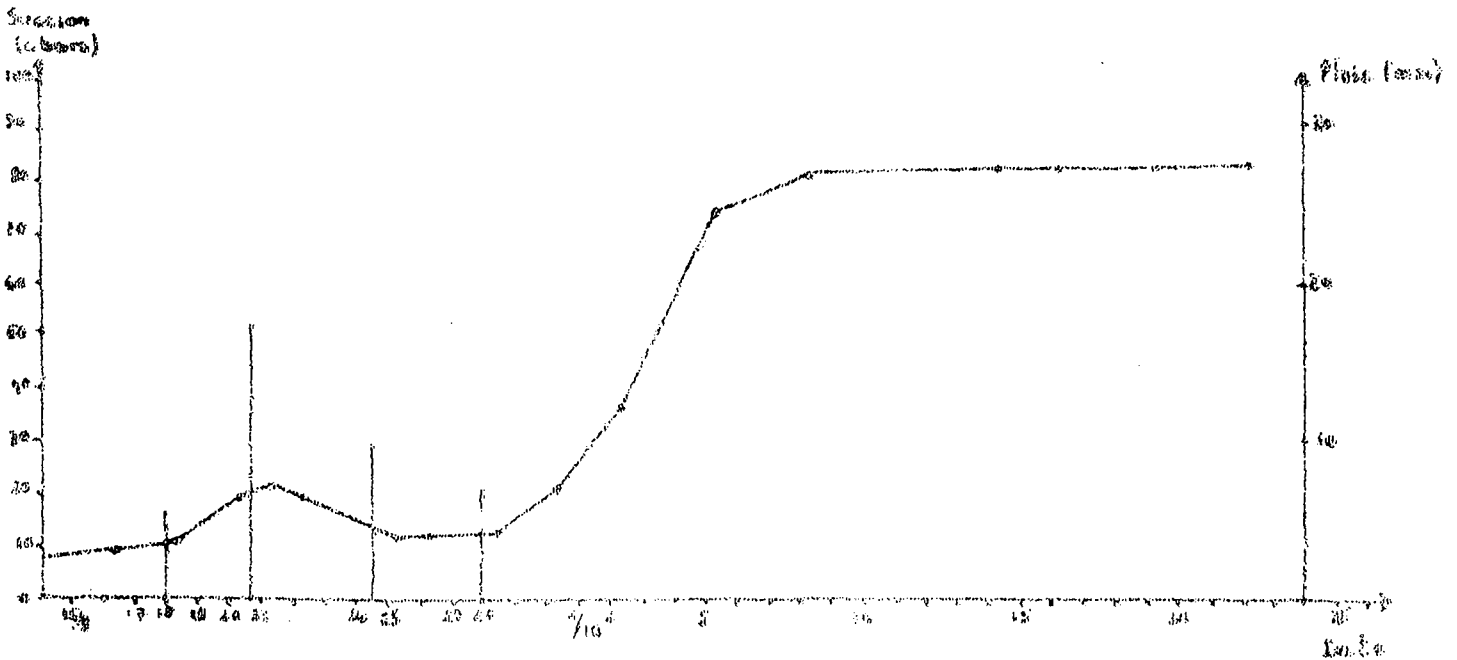


FIGURE 2.4.3.b. : Gonsé - tensionnètres : succion en aval de la digue.



2.5. L'IMPACT AGRICOLE DES DIGUES FILTRANTES :

2.5.1. Objectif des observations :

Les observations effectuées avaient pour objectif de quantifier l'impact des digues sur la reconstitution et la qualité des sols, ainsi que l'utilisation et les résultats obtenus sur le plan agricole.

2.5.2. Méthode utilisée :

2.5.2.1. Principe :

- Reconstitution de la qualité des sols :

Dans un premier temps, on a voulu analyser relativement en détail, le sol reconstitué à l'amont de la digue. La digue étudiée en détail est celle de Sankondé-seuil, sur laquelle ont été faites, par ailleurs, les mesures hydrauliques déjà présentées. On a également étudié par comparaison la digue de Nané-seuil. On a donc procédé à :

- des analyses de sol (granulométrie, chimie, mesures d'humidité) en différents points à l'amont de la digue (Sankondé-seuil)
- des mesures de hauteur de dépôts solides à l'amont et au pied de la digue (Sankondé-seuil et Nané-seuil)

- Utilisation et résultats agricoles :

Sur neuf sites, on a procédé aux observations suivantes sur les cultures mises en place :

- superficiés mises en culture
- dates des semis
- comportement des cultures après chaque écoulement
- calendrier des opérations culturales
- dates des récoltes et rendements

On a choisi les sites en fonction de l'âge de la digue, de sa configuration et de son mode de construction. On a également choisi quelques sites témoins sans digue.

Pour chaque site, plusieurs échantillons de récolte (de sorgho) ont été prélevés sur des carrés de 5 x 5 m. Sur ces échantillons, on a mesuré le nombre d'épis, le poids des épis, le nombre de tiges par poquet, la hauteur moyenne des tiges, et le rendement en grains.

La récolte totale sur chacun des sites a été estimée en comptant le nombre de paniers remplis (juste après la coupe ou au moment du transport vers les greniers). On a mesuré le contenu d'un panier et demandé à ce que les paysans les remplissent tous à peu près de la même manière.

Enfin, on a complété ces mesures par des observations plus sommaires faites sur 7 sites complémentaires.

2.5.2.2. Choix et caractéristiques des sites :

Le tableau 2.5.1 suivant donne les caractéristiques des sites qui ont été choisis pour les observations sur les cultures.

N°	localisation	année de construction	caractéristiques de construction	superficie cultivée
i	Sankondé-tensiomètres	1984	pierres pas bien empilées	1.53 ha
ii	Sankondé-digue amont de Sankondé-seuil	1985	pas terminée : à prolonger pierres bien empilées	0.92 ha
iii	Sankondé-site sans digue			
iv	Nané-seuil	1981		0.37 ha
v	Nané-tensiomètre à l'aval de Nané-seuil	1981	pierres bien empilées mais digue mal nivelée	0.44 ha
vi	Rissiam, site sans digue à côté de la ravine des digues de Nané			0.30 ha
vii	Gonsé-tensiomètres	1985	petite digue pierres bien empilées	0.13 ha
viii	Gonsé, site sans digue			0.62 ha
ix	Badinogo (cf annexe 1.2) la troisième en partant de l'amont, d'une série de quatre.	1986	digue courte et pas encore consolidée	0.8 ha
x	Sankondé, digue-aval de i	?	mêmes caractéristiques que i	1.2 ha
xi	Sankondé, digue-aval de ii			0.6 ha
xii	Sankondé, digue-aval de xi		digue en mauvais état	0.95 ha
xiii	Gonsé, digue-amont de vii	?	mêmes caractéristiques que vii	0.30 ha
xiv	Badinogo, digue-aval de ix	?	petite digue en mauvais état	0.14 ha
xv	Badinogo, digue-amont de ix	?	petite digue en mauvais état	0.25 ha
xvi	Badinogo, digue amont de xv	?	construite en 86, pas encore consolidée	0.50 ha

TABLEAU 2.5.1 : CARACTERISTIQUES DES SITES D'OBSERVATIONS DES CULTURES

Pour tous les sites, sauf xi, on trouve, en annexe 3.2, des croquis montrant le plan des digues et des superficies cultivées, avec l'emplacement des prélèvements de récolte. L'annexe 3.3 présente le plan topographique de quelques sites permettant de calculer les volumes d'eau retenus.

2.5.2.3. Déroulement des mesures et problèmes rencontrés :

Les observations ont été faites sur le sorgho, qui est cultivé sur la majeure partie des superficies à l'amont des digues étudiées. Les cultures ayant été semées tôt (à Sankondé et à Nané à la mi-mai), elles étaient suffisamment développées lors de la période d'observation qui a débuté à la mi-juillet, pour que l'on ne constate pas de dégâts importants causés par les crues. Si certains plants étaient couchés, la plupart pouvaient se relever. Les principaux dégâts observés ont plutôt été dus, lorsque les pieds sont devenus assez hauts, aux rafales de vent qui accompagnent les averses et cassent les tiges.

2.5.3. Reconstitution et qualité des sols :

2.5.3.1. Résultats obtenus :

a) Analyse des dépôts solides à l'amont d'une digue :

- Hauteur des dépôts :

La hauteur des dépôts solides accumulés au pied de la digue à l'endroit le plus bas a été relevée après chaque écoulement sur les digues de Sankondé-seuil et Nané-seuil. Ces dépôts sont constitués :

- de débris végétaux de grande taille (tiges, branches,...)
- de matière organique (débris végétaux) plus ou moins décomposée et visible
- de terre.

Compte tenu de la difficulté de mesurer des hauteurs de l'ordre du millimètre après chaque écoulement, on ne présente que le cumul des observations. (On ne comptabilise pas les débris végétaux de grande taille)

- Pour Sankondé : 42.1 mm de terre
79 mm de matière organique visible
- Pour Nané : 34.5 mm de terre
26 mm de matière organique visible

- Evolution dans le temps de la composition des dépôts :

Un échantillon de dépôts solides a été prélevé après chaque écoulement et analysé en laboratoire. On a ainsi mesuré :

- la granulométrie : pourcentages d'argile, limons, sables
- la teneur en matière organique (%) et le rapport C/N de chaque échantillon.

Il a également été prélevé et analysé un échantillon à l'aval de chacune des digues.

Les résultats de ces analyses sont présentés, page II-90, sur les figures 2.5.1.a (Sankondé) et 2.5.1.b (Nané). Sur ces figures on a reporté :

- en abscisse le temps (dates des pluies et des prélèvements)
- en ordonnées, et sur différentes échelles :
 - la composition granulométrique (%)
 - la teneur en matière organique MO (%)
 - le rapport C/N
 - la hauteur des averses pendant la période d'observation (mm). Elles sont représentées sous forme de diagramme en "batons".

Sur le côté et dans un encadré à part, on a fait figurer les résultats obtenus sur l'échantillon prélevé immédiatement à l'aval de la digue.

b) Analyse du sol reconstitué à l'amont de la digue de Sankondé-seuil :

Douze points de prélèvement ont été choisis à l'amont de la digue de Sankondé-seuil. Leur localisation est présentée sur la figure 2.5.2, page II-92.

Sur chacun de ces points, on a prélevé des échantillons de sol dans les tranches de profondeur : 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm.

Chacun de ces échantillons (12 x 4 = 48) a fait l'objet des analyses suivantes :

- granulométrie (argile, limons, sables en %)
- matière organique : totale, carbone, azote, C/N
- humidités (%) aux pF : 2.5 - 3 - 4.2
- densité réelle

Pour chaque point de prélèvement on a ensuite mélangé les quatre échantillons de différentes profondeurs et fait effectuer les 12 analyses suivantes :

- capacité d'échange T (me/100g)
- bases échangeables : Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, somme des bases S
- taux de saturation $V = S/T$ (en %)
- Potassium disponible et Potassium total (ppm)
- Phosphore assimilable et Phosphore total (ppm)

Enfin, pour les trois points de prélèvement : P5, P7 et P11, toujours sur l'ensemble des tranches de profondeur, ont été mesurés pH(H₂O) et pH(KCl) (suspension 1/2.5).

Les résultats des analyses granulométriques ont été reportés sur les graphiques de la figure 2.5.3, page II-92. Ceux concernant la matière organique, sur la figure 2.5.4, page II-93. Sur chacune de ces figures, et pour chacun des points de prélèvement notés P1 à P12, on a fait figurer l'évolution de la composition granulométrique, ou des caractéristiques de la matière organique en fonction de la profondeur.

Les résultats des analyses chimiques : N, P, K, capacité d'échange et bases échangeables, pH, sont reportés dans le tableau 2.5.2, page II-87 .

Dans la tableau 2.5.3, on a fait figurer les informations disponibles pour la caractérisation des propriétés hydriques du sol. La signification des en-têtes des colonnes sont les suivantes :

- A : H (%) à pF 2.5 : humidité massique au pF 2.5
 - B : H (%) à pF 3 : -- -- 3
 - C : H (%) à pF 4.2 : -- -- 4.2
 - D : eau utile (%) = humidité à pF 2.5 - humidité à pF 4.2
- On a choisi comme pF à la capacité de rétention le pF=2.5 en considération de la granulométrie générale des échantillons (limons argileux en général, taux d'argile = 20 %, limons = 35 %)
- E : densité apparente d_a : densité du sol en place
- Ce paramètre n'a pas pu être mesuré. Il est nécessaire à l'estimation de la réserve en eau utile et de la porosité. Il faudra le mesurer in situ pendant la prochaine campagne (méthode de KOPECKY : prélèvement d'un échantillon en place avec un cylindre, passage à l'étuve jusqu'à poids constant, pesée et calcul du rapport poids/volume = d_a)
- F : réserve utile RU (mm) : eau disponible pour la plante
 $RU = e * d_a / 100$ (e = épaisseur du sol considéré en mm)
 - G : densité réelle du sol mesurée en laboratoire d_r
 - H : porosité du sol en place P (%)
 $P = 100 (1 - d_a/d_r)$
 - I : capacité de rétention volumique pour l'eau CR eau (%)
 $CR \text{ eau} = d_a * H(pF=2.5)$
 - J : capacité pour l'air C air (%)
 $C \text{ air} = P - CR \text{ eau}$ permet d'estimer la capacité d'aération du sol entre deux submersions et d'évaluer les risques d'asphyxie.

Le contenu des colonnes F, H, I, J, est dépendant de la densité apparente et ne pourra être calculé qu'après les mesures de cette grandeur.

2.5.3.2. Discussion - Conclusions :

a) Analyse des dépôts solides à l'amont de la digue :

- Le volume des dépôts :

A Sankondé, on a mesuré : - 42.1 mm de particules de terre
- 79 mm de matière organique visible
du 23/7 au 26/9, soit en 65 jours.

Les paysans ont semé derrière les digues filtrantes aux alentours de la mi-mai. On peut considérer que les premières pluies sont contemporaines de cette période. Sachant que l'érosion est sans doute plus forte en début de saison à cause de l'absence de végétation, si on extrapole les résultats obtenus à la période allant du 15 Mai au début des mesures, on sous-estime sans doute la hauteur totale des dépôts apportés au pied de la digue. Pour l'ensemble de la saison, cela correspondrait à environ 85 mm de particules de terre.

La quantité de matière organique entraînée en début de saison est, elle, sans doute plus faible que lorsque la végétation s'est mise en place. Par ailleurs, cette matière organique est destinée à se décomposer. On peut donc retenir comme première approximation le chiffre de 10 cm de dépôts solides (terre + humus) pour l'essentiel de la saison. La digue de Sankondé ayant été construite en 1985, on peut donc considérer qu'en deux ans, cette hauteur est d'environ 20 cm.

Un calcul rapide effectué à partir du plan topographique de l'amont de la digue figurant en annexe 1.5, et basé sur l'hypothèse d'une décroissance linéaire de la hauteur des dépôts depuis le point le plus bas jusqu'à la cote de déversement, montre que le volume total des dépôts serait de l'ordre de 210 m³ en deux ans.

En supposant une répartition égale sur les deux saisons des pluies concernées, cela équivaldrait à environ 105 m³ de matériaux pour un bassin versant de 1.614 km², soit 65 m³/km²/an. En l'absence de mesures de la densité apparente du sol, et compte tenu de la granulométrie limono-argileuse des dépôts, on peut prendre en première approximation $\rho = 1.3$, ce qui donne 0.85 t/ha/an. Etant donné que les digues sont filtrantes, ces chiffres représentent probablement une sous-estimation de la dégradation spécifique du bassin. Ils sont à comparer aux résultats obtenus par ailleurs au Burkina Faso pour des bassins versants beaucoup plus grands.

bassin versant (barrage)	surface (km ²)	période d'étude	organisme ou auteur	pluie annuelle (mm)	dégradation spécifique	
					m ³ /km ² /an	t/ha/an *
GOUNDI	38	64-80	EIER	900	160	1.92
VI	92	64-80	EIER	1000	52	0.64
BOULBI	102	60-85	NIETTON	850	75	0.95

(*) les valeurs citées correspondent à une densité de 1.2

- Evolution dans le temps de la composition des dépôts :

- A Sankondé : (figure 2.5.1.a, page II-90)

* Composition granulométrique :

Au début de la période de mesures, les taux d'argile et de sables sont équivalents (22 %), mais rapidement le taux de sables diminue, et la composition granulométrique fluctue autour d'une moyenne de l'ordre de :

- . 29.1 % d'argile
- . 63.5 % de limons
- . 7.4 % de sables

En l'absence de données relatives au début de la saison, il est difficile d'interpréter la baisse des taux de sables observée à la fin juillet.

Par la suite, la granulométrie est relativement stable dans le temps. On peut cependant observer que le taux de sables augmente à l'occasion de pluies fortes et/ou rapprochées (pluies du 19 et 22 Aout, et du 5 et 6 Septembre). Le taux d'argile diminue corrélativement, avec un taux de limons relativement stable.

La composition granulométrique de l'échantillon prélevé en surface à l'aval de la digue est similaire à celle des dépôts à l'amont, ce qui peut conduire à penser que la digue est relativement perméable aux matériaux transportés par les crues.

* Matière organique :

On constate une forte décroissance des taux de matière organique des dépôts simultanée à celle de la teneur en sables au début de la période d'observation. Par la suite, ce taux subit des fluctuations autour d'une tendance à la baisse qui se stabilise à partir de la mi-août.

Le rapport C/N, qui traduit le degré de décomposition de la matière organique, varie énormément au cours de la saison, mais sa tendance est également à la baisse.

L'interprétation de ces résultats nécessiterait une analyse de l'évolution de la couverture végétale sur le bassin versant au cours de la saison. En particulier, les fortes variations du taux de matière organique et de son degré de décomposition pourraient être liées aux opérations culturales effectuées sur le bassin versant ou à l'amont plus immédiat de la digue.

Le taux de matière organique de l'échantillon prélevé à l'aval de la digue (2.5%) est légèrement plus faible que les plus faibles valeurs observées à l'amont, mais nettement plus faible que la moyenne des dépôts amont (7.5%), ce qui semble montrer que la digue retient relativement bien la matière organique.

- A Nané : (figure 2.5.1.b, page II-90)

* Composition granulométrique :

Les variations de composition granulométrique au cours du temps se font autour d'une moyenne relativement stable :

- . 43.9 % d'argile
- . 50.3 % de limons
- . 5.8 % de sables

Le taux d'argile plus élevé qu'à Sankondé s'obtient aux dépens des limons. La variation la plus notable de cette composition se produit pour le prélèvement du 29 Juillet qui suit deux pluies rapprochées de 13 et 23 mm le 28 Juillet.

La composition granulométrique de l'échantillon prélevé à l'aval de la digue est notablement différente de celle des dépôts amont, avec un taux de sables plus important (25%), qui tend à indiquer que la digue de Nané est :

- soit globalement plus imperméable aux matériaux solides, la teneur en sables plus importante étant due au sol en place avant la construction de la digue
- soit sélectivement plus imperméable aux matériaux fins qui se déposent préférentiellement à l'amont.

* Teneur en matière organique :

La teneur en matière organique est plus stable et plus faible à Nané, en moyenne 3.2% contre 7.5% à Sankondé. La seule variation importante du taux de matière organique est concomitante à celle de la composition granulométrique lors du prélèvement du 29 Juillet.

Par contre, le taux de décomposition de la matière organique diminue au cours de la saison (le rapport C/N passe de 4-8 au mois de Juillet à 16-19 au mois de septembre), ce qui pourrait traduire le fait qu'au début de saison, la matière organique provient de la campagne précédente (résidus de récolte, ...).

- Conclusions :

Les résultats obtenus sont facilement interprétables. D'une manière générale, il faudrait analyser l'évolution de l'occupation du sol sur le bassin versant au cours de la saison : évolution de la végétation naturelle, pratiques culturales, etc pour expliquer les variations de composition observées. Ces variations sont sans doute dues en grande partie à ces facteurs qui modifient l'état de surface (semis, sarclage, pâturages, etc...).

b) Analyse du sol reconstitué à l'amont de la digue de Sankondé-seuil :

Parmi les douze prélèvements effectués, deux (P11 et P12) sont plus hauts que la cote de déversement (une vingtaine de centimètres) de la digue. Ils sont donc a priori hors de la zone d'influence de la digue et on peut les considérer comme témoins de la nature du sol d'origine.

* Composition granulométrique :

On a tracé sur la figure 2.5.2, page II-91, un transect qui permet de réaliser une coupe de sol reconstitué en partant du sol d'origine (Pl2), jusqu'au pied de la digue en traversant l'axe du thalweg.

Si l'on reporte (figure 2.5.5, page II-94) les résultats des analyses granulométriques des échantillons du transect (Pl2, P6, P9, P3, P7, Pl) sur un graphique figurant schématiquement la coupe du terrain avec en abscisse la distance horizontale et en ordonnées la position topographique par rapport à la cote de déversement, on observe une évolution nette :

On part (Pl2) d'un profil régulier sur les 20 cm de profondeur du prélèvement, où les trois classes granulométriques sont réparties comme suit :

- fort pourcentage de sables 65.2%
- limons 20.8%
- argile 14.0%

Progressivement, les couches du sol les plus superficielles voient leur composition granulométrique changer :

- En P6, dans la tranche 0-5 cm, le taux de limons dépasse celui des sables, tandis que la teneur en argile a augmenté

- En P9, ce sont les deux tranches 0-5 et 5-10 cm qui ont inversé leur composition granulométrique. Le taux de sables est descendu en dessous du taux de limons et d'argile.

- En P3, à l'endroit le plus bas du transect et qui correspond à l'axe du thalweg formé par la digue, la composition granulométrique a été transformée sur l'ensemble du profil d'observation :

- limons : 22.37 %
- argile : 24.81 %
- sables : 12.82 %

- En P7, en remontant de l'autre côté de l'axe du thalweg (et le long de la digue), l'évolution inverse commence à se marquer : seule la tranche 15-20 cm retrouve la composition initiale avec prédominance des sables sur limons et argiles.

- En Pl, ce sont deux tranches sur quatre qui ont retrouvé cette composition.

Cette évolution montre bien la variation dans l'espace de l'épaisseur de la couche de sol reconstitué et confirme que, au point le plus bas (P3), l'épaisseur des dépôts solides est au moins de 20 cm. On retrouve d'ailleurs en P3 une composition granulométrique moyenne sur l'ensemble du profil qui rappelle celle des dépôts solides apportés pendant l'hivernage 1986 et rappelés en bas de la figure 2.5.1.a :

- limons : 63.5 %
- argile : 29.1 %
- sables : 7.4 %

Elle confirme également que l'on peut sans doute considérer le point Pl2 comme témoin de la nature du sol antérieur à la construction de la digue, alors que Pl1 (cf figure 2.5.3, page II-92) est à la limite d'influence de la digue, la composition granulométrique de la tranche 0-5 cm étant déjà modifiée par les dépôts (baisse du taux de sables et augmentation des taux de limons et d'argile).

* Teneur en matière organique :

La teneur en matière organique du sol reconstitué se répartit de manière un peu différente.

Le sol d'origine (P12 : 0.92% , P11 : 0.71%) est très pauvre en matière organique, comme la plupart des sols du Burkina. On a vu que la teneur moyenne en matière organique des dépôts apportés au cours de l'hivernage 86 est de 7.5% . Dans les profils de la figure 2.5.4, page II-93, on retrouve une répartition en profondeur qui correspond à peu près à l'épaisseur du sol reconstitué, de sorte que la teneur croît, sur la figure 2.5.5, page II-94, lorsque cette épaisseur augmente de P12 à P3.

Mais les prélèvements les plus riches en matière organique sur la figure 2.5.5 sont les plus proches de la digue, même lorsque l'épaisseur des dépôts diminue (P7,P1). En effet, les débris végétaux et résidus de récolte emportés par la crue, viennent se concentrer sur le parement amont de la digue et s'y décomposent progressivement. On trouve donc un gradient décroissant très important des taux de matière organique en fonction de la distance mesurée perpendiculairement à la digue, que l'on a fait ressortir sur la figure 2.5.6, page II-95.

Sur ce graphique, on constate que l'influence de la digue sur le taux de matière organique ne se fait sentir de manière significative que sur une distance très courte, de l'ordre de la dizaine de mètres, les prélèvements P8,P9,P4,P6,P10 ayant un taux de matière organique peu différent de 2%, ordre de grandeur du témoin.

Le taux de décomposition de cette matière organique est en général relativement bon (C/N = 10) , sauf pour :

- P1 (C/N = 19.23) qui correspond à la zone d'accumulation des débris végétaux au pied de la digue (M.O : 4.25%)
- P5 (C/N = 19.95) qui doit correspondre à une zone d'accumulation locale, et qui a une position particulière sur le graphique 2.5.6 (M.O : 1.79%)

* Principaux éléments :

Sur la figure 2.5.7, page II-95, on a reporté l'évolution de la teneur du sol (20 premiers centimètres) en éléments nutritifs principaux :

- Azote total (en %.)
- Potassium disponible (en ppm)
- Phosphore assimilable (en ppm)

en fonction de la distance à la digue. On a pris comme témoin le prélèvement P12.

On constate là encore une forte augmentation de ces teneurs à proximité immédiate de la digue mais l'influence de la digue semble se faire sentir sur une faible distance :

- La teneur en Azote total se stabilise très rapidement autour de la valeur du témoin : 0.5 %, ce qui est faible et comparable avec la plupart des sols étudiés par le Bureau National des Sols au Burkina.

- La teneur en Phosphore assimilable décroît également très rapidement et se stabilise à un niveau inférieur à celui du témoin avant de remonter pour atteindre cette valeur elle même très faible (1.25 ppm), alors que la teneur en Phosphore total varie autour de 1000 ppm.

- La teneur en Potassium disponible décroît également rapidement, mais se stabilise autour d'une valeur (de l'ordre de 50 ppm) nettement supérieure à celle du témoin (32 ppm).

On constate donc globalement une carence très forte en Phosphore et une carence importante en Azote, sauf aux abords immédiats de la digue. La correction de cette carence en Azote ne donnera d'ailleurs une réponse satisfaisante qu'après correction de la carence en Phosphore.

* Capacité d'échange et bases échangeables :

Sur la figure 2.5.8, on a fait figurer l'évolution des taux des bases échangeables (en me/100g) dans les 20 premiers cm du sol en fonction de la distance à la digue.

On constate que la teneur globale en bases échangeables du sol à l'amont de la digue est nettement supérieure au témoin si c'est le prélèvement P12 qui est choisi comme témoin. D'une manière générale, la moyenne de cette teneur sur les prélèvements 1 à 10 est de 7.52 me/100g, ce qui constitue un niveau moyen. Sur cette valeur moyenne, les différentes bases se répartissent comme suit :

- Calcium : 4.59 me/100g soit 61.1 %
- Magnésium : 2.64 me/100g soit 35.1 %
- Potassium : 0.21 me/100g soit 2.8 %
- Sodium : 0.08 me/100g soit 1.0 %

L'équilibre entre bases est assez bon ($Ca/Mg = 1.7$, $Mg/K = 12.6$), aucune ne manifeste de carence, compte tenu de la granulométrie du sol étudié.

Pour les prélèvements P1 à P10, le taux de saturation du complexe absorbant varie entre 45 et 87 % de la capacité d'échange dont la valeur moyenne est de 10.8 me/100g. La capacité d'échange est donc moyenne et son taux de saturation moyen à fort.

* Propriétés hydriques :

En l'absence de données sur la densité apparente, il est difficile de quantifier des paramètres importants comme la Réserve Utile du sol en mm ou la porosité. Comme il s'agit d'un sol reconstitué en surface, il est difficile d'estimer a priori cette dernière grandeur qu'on estime en général en fonction de la composition granulométrique.

Néanmoins, les valeurs d'humidité du sol aux pf caractéristiques correspondant à la capacité de rétention et au point de flétrissement permanent sont largement fonction de la texture et l'on retrouve cette influence sur le pourcentage d'eau utile dans les profils.

Si on prend comme témoin du sol en place avant la construction de la digue le prélèvement P12 (eau utile : 8.69 % en moyenne sur les 20 premiers centimètres), et le prélèvement P3 comme représentatif de la nature du sol reconstitué (eau utile : 27.53 % sur 20 cm), on constate que la capacité pondérale de la réserve utile est plus de trois fois supérieure dans le sol reconstitué que dans le sol d'origine. Ce rapport est un peu inférieur à trois si l'on considère la réserve utile en mm en observant que la densité apparente du sol d'origine doit être supérieure (sols sableux) à celle du sol reconstitué.

On peut, pour fixer les idées, faire l'hypothèse d'une densité apparente de 1.3 pour le sol reconstitué et de 1.5 pour le sol d'origine. En prenant les mêmes profils de référence P12 et P3, on obtient une réserve utile de :

- 71.6 mm pour 20 cm de sol reconstitué
- 26.07 mm pour 20 cm de sol d'origine

Avec les mêmes hypothèses de densité apparente en deux ans, la réserve utile du sol sur la surface d'influence de la digue a été augmentée de 13.2 mm en moyenne.

- Conclusion :

L'amélioration de la qualité du sol à l'amont des digues filtrantes semble devoir être due plus aux propriétés physiques qu'aux qualités chimiques des dépôts. En effet, l'influence de la digue ne se fait sentir que sur une faible distance à l'amont tant pour la teneur en matières organiques que pour celle des principaux éléments minéraux. Par contre, la composition granulométrique des dépôts nettement plus argileuse que le sol en place doit permettre, sous réserve que la porosité soit suffisante, une nette amélioration des caractéristiques hydriques du sol. Cette amélioration devrait s'accroître avec l'augmentation de l'épaisseur des dépôts liée à l'âge de la digue.

Prélevements	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	moenne P1-P10	P11	P12
N, P, K													
azote total %	1.56	0.69	1.35	0.51	0.69	0.50	1.30	0.47	0.62	0.43	0.81	0.40	0.50
potassium K													
-disponible(ppm)	58.6	44.6	116.3	58.6	60.5	67.0	81.8	44.6	62.3	46.5	64.1	56.7	32.6
total(ppm)	900	900	1260	720	810	900	1260	990	990	720	945	810	810
phosphore P													
-assimilable(ppm)	2.56	0.76	0.63	0.97	0.88	0.80	1.68	0.76	0.71	0.88	1.06	1.22	1.26
total(ppm)													
COMPLEXE ABSORBANT													
capacité échange													
T (me/100g)	10.56	12.1	13.7	11.5	12.1	7.8	12.8	12.5	7.36	7.59	10.80	6.9	3.22
bases échangeables													
(me/100g)													
-Calcium Ca ⁺⁺	4.70	4.70	6.90	2.90	4.00	2.60	5.90	6.70	3.88	3.61	4.59	2.78	1.11
Magnesium Mg ⁺⁺	2.52	2.90	3.60	2.10	2.80	1.71	3.50	3.20	2.23	1.85	2.64	1.83	0.88
-Potassium K ⁺	0.20	0.16	0.35	0.16	0.20	0.20	0.30	0.13	0.19	0.16	0.21	0.16	0.09
Sodium Na ⁺	0.09	0.04	0.09	0.03	0.01	0.06	0.01	0.01	0.08	0.14	0.08	0.06	0.04
somme des bases													
S (me/100g)	7.51	7.80	10.94	5.19	7.00	4.57	9.70	10.03	6.38	5.76	7.52	4.83	2.12
taux de saturation													
C/S/T (%)	71	64	80	45	58	59	76	80	87	76	69	70	66
pH													
PH H2O					6.4		6.1					6.4	
PH KCl					5.2		5.1					4.9	

TABLEAU 2.5.2 : ANALYSE CHIMIQUE DES ECHANTILLONS DE SOL

DIGUE DE SANKONDE-SEUIL

		H% à PF=2.5 A	H% à PF=3 B	H% à PF=4.2 C	eau utile % D=A-C	da E	RU (mm) F=E*D*e	dr G	P % H=(1-E/G) *100	CR eau % I=E*D	C Air % J=H-I
P1	0-5 cm	50.25	35.05	18.52	31.73			2.72			
	5-10 cm	57.12	35.80	13.07	44.05			2.63			
	10-15 cm	12.66	11.95	5.82	6.84			2.60			
	15-20 cm	13.64	11.09	6.68	6.96			2.82			
	moienne	32.42	23.47	11.02	22.40			2.69			
P2	0-4 cm	35.83	19.28	11.87	23.96			2.47			
	4-8 cm	27.71	24.40	14.25	13.46			2.67			
	8-14 cm	33.34	20.54	8.60	24.74			2.69			
	14-20 cm	14.48	11.88	7.18	7.30			2.61			
	moienne	27.84	19.02	10.48	17.36			2.61			
P3	0-5 cm	42.21	28.31	15.25	26.96			2.54			
	5-10 cm	48.42	37.69	11.99	36.43			2.68			
	10-15 cm	35.39	28.31	12.17	23.22			2.51			
	15-20 cm	35.23	15.07	11.69	23.54			2.86			
	moienne	40.31	27.35	12.78	27.53			2.65			
P4	0-5 cm	31.22	20.45	10.63	20.59			2.75			
	5-10 cm	23.95	15.34	8.60	15.35			2.81			
	10-15 cm	11.21	8.24	5.13	6.08			2.85			
	15-20 cm	10.49	8.44	5.77	4.72			2.62			
	moienne	19.22	13.12	7.53	11.69			2.76			
P5	0-5 cm	34.03	21.09	11.98	22.05			2.78			
	5-10 cm	35.93	15.13	11.31	24.62			2.69			
	10-15 cm	14.15	12.06	10.05	4.10			2.85			
	15-20 cm	12.75	8.76	5.33	7.42			2.78			
	moienne	24.21	14.26	9.67	14.54			2.78			
P6	0-4 cm	27.95	11.47	8.00	19.93			2.79			
	4-10 cm	13.43	11.80	9.49	3.94			2.68			
	10-15 cm	13.04	7.89	6.43	6.61			2.68			
	15-20 cm	12.0	8.0	5.4	6.60			2.70			
	moienne	16.60	9.79	7.33	9.27			2.71			
P7	0-6 cm	48.84	24.95	16.38	32.46			2.64			
	6-11 cm	35.53	23.92	19.60	15.93			2.72			
	11-17 cm	28.87	25.87	15.00	13.87			2.70			
	17-23 cm	15.69	10.22	7.33	8.36			2.66			
	moienne	32.23	21.24	14.58	17.65			2.68			

TABLEAU 2.5.3: TAUX D'HUMIDITE AUX PF CARACTERISTIQUES
ET DENSITE REELLE DES ECHANTILLONS DE SOL
DIGUE DE SANKONDE-SEUIL

		HX à PF=2.5 A	HX à PF=3 B	HX à PF=4.2 C	eau utile % D=A-C	da E	RU (mm) F=E*D*e	dr G	P % H=(1-E/G) *100	CR eau % I=E*D	C Air % J=H-I
P8	0-5 cm	27.55	16.88	12.06	15.49			2.56			
	5-10 cm	25.77	13.37	9.01	16.76			2.47			
	10-15 cm	23.55	15.37	14.67	8.88			2.63			
	15-20 cm	24.66	18.39	15.13	9.53			2.61			
	moenne	25.98	16.00	12.72	12.66			2.57			
P9	0-5 cm	37.87	20.19	12.97	24.90			2.51			
	5-10 cm	37.03	15.85	9.10	27.93			2.42			
	10-15 cm	16.99	12.32	7.67	9.32			2.61			
	15-20 cm	12.83	11.30	5.29	7.54			2.69			
	moenne	26.18	14.91	8.76	17.42			2.56			
P10	0-4 cm	21.48	13.00	8.15	13.33			2.58			
	4-10 cm	15.74	10.59	6.00	9.74			2.74			
	10-15 cm	14.45	7.50	4.81	9.64			2.56			
	15-20 cm	14.10	7.70	6.90	7.20			2.55			
	moenne	16.44	9.70	6.47	9.97			2.61			
MOYENNE P1-P10	26.18	16.89	10.13	16.05			2.66				
P11	0-5 cm	20.37	13.96	5.09	15.88			2.75			
	5-10 cm	12.74	11.26	8.34	4.40			2.61			
	10-15 cm	12.67	10.44	7.67	5.00			2.66			
	15-20 cm	15.67	7.91	6.70	8.97			3.07			
	moenne	15.51	10.89	6.95	8.56			2.77			
P12	0-5 cm	17.40	13.34	6.24	11.16			2.33			
	5-10 cm	14.63	7.60	7.51	7.18			2.76			
	10-15 cm	13.80	7.65	3.65	10.15			2.34			
	15-20 cm	11.07	7.23	4.82	6.25			2.40			
	moenne	14.24	8.96	5.55	8.69			2.46			

TABLEAU 2.5.3: TAUX D'HUMIDITE AUX PF CARACTERISTIQUES
(SUITE) ET DENSITE REELLE DES ECHANTILLONS DE SOL
DIGUE DE SANKONDE-SEUIL

FIGURE 2.5.1.a : Evolution au cours de la saison de la composition des dépôts solides à l'amont de la digue de Sankondé - seuil

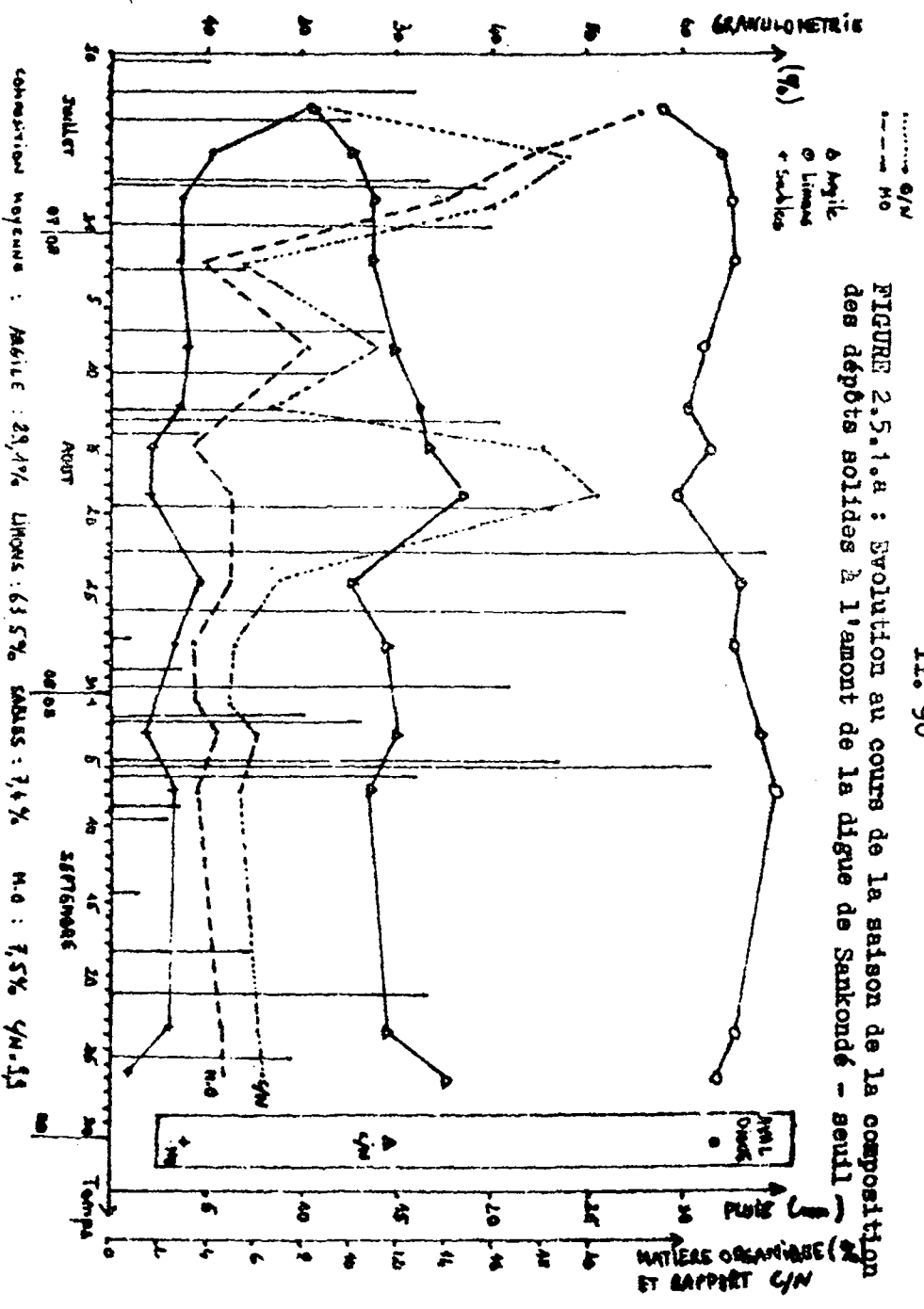
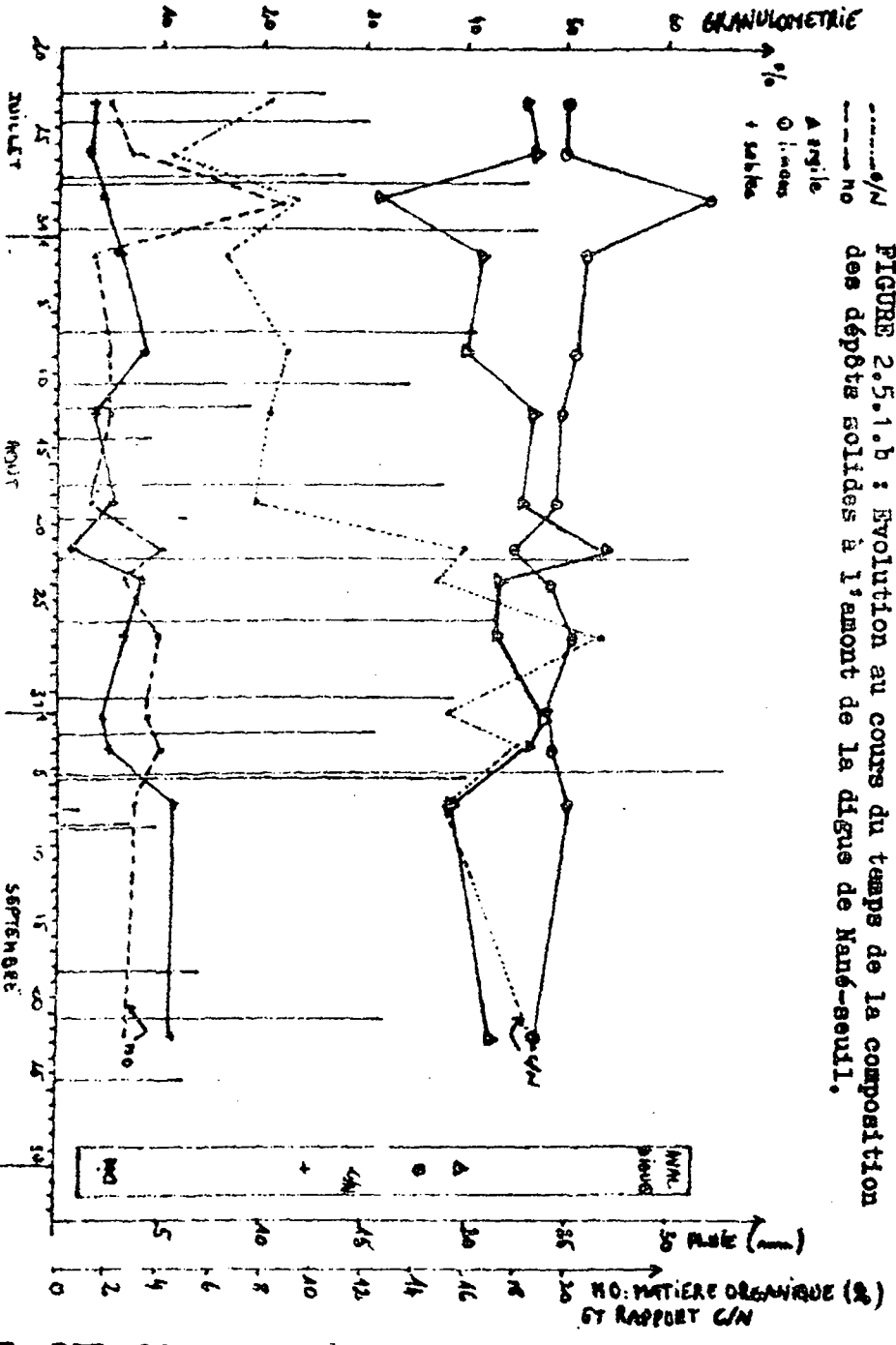
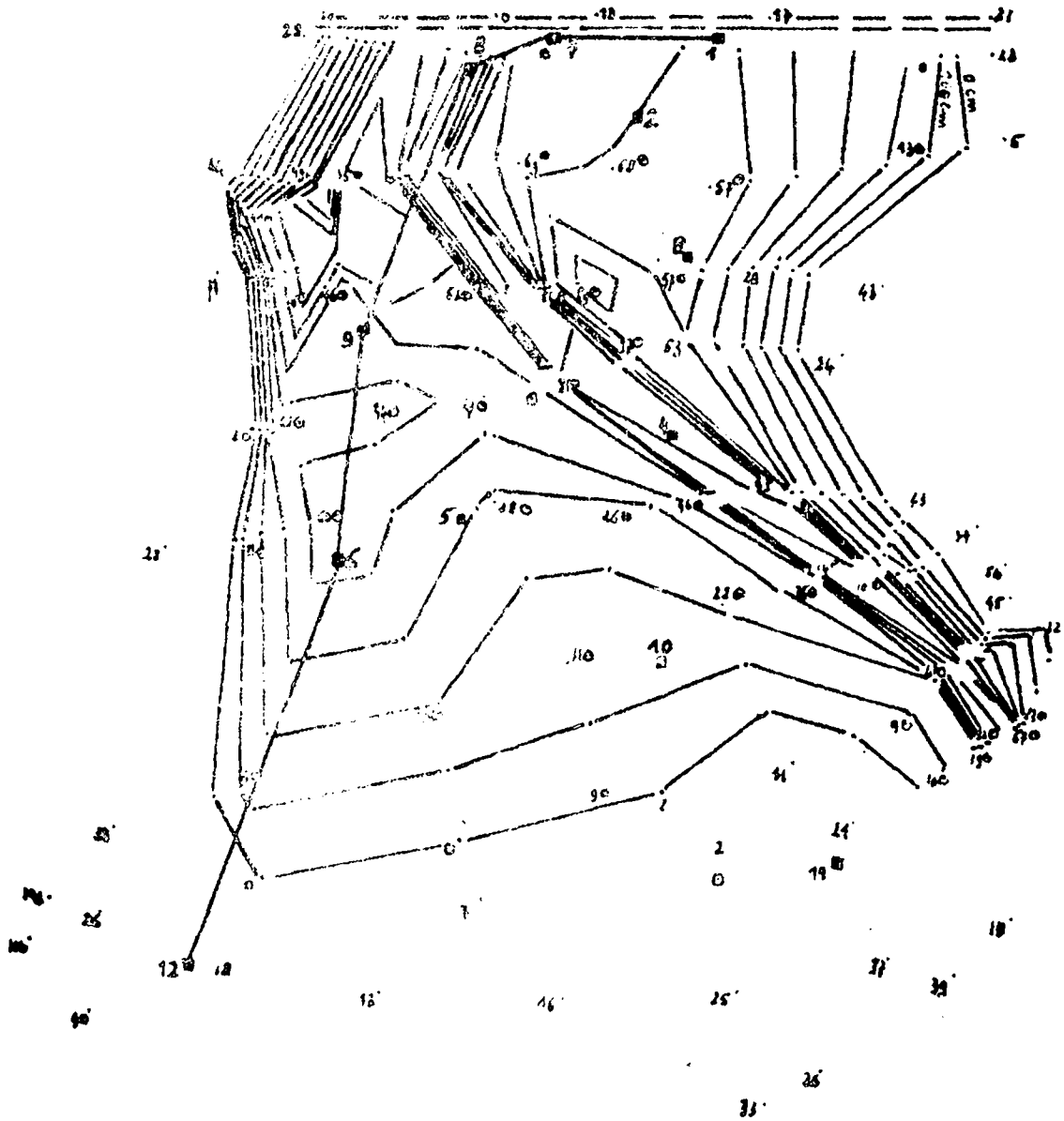


FIGURE 2.5.1.b : Evolution au cours du temps de la composition des dépôts solides à l'amont de la digue de Nané-seuil.



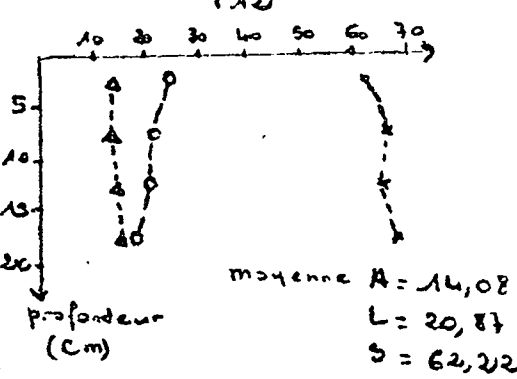
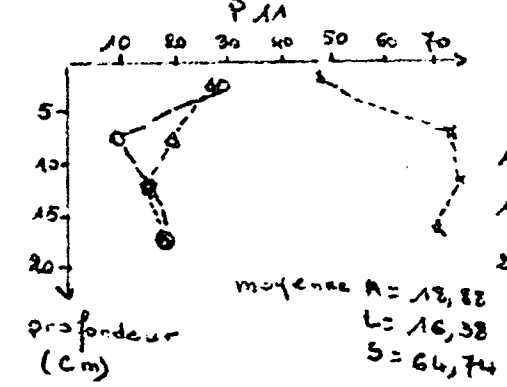
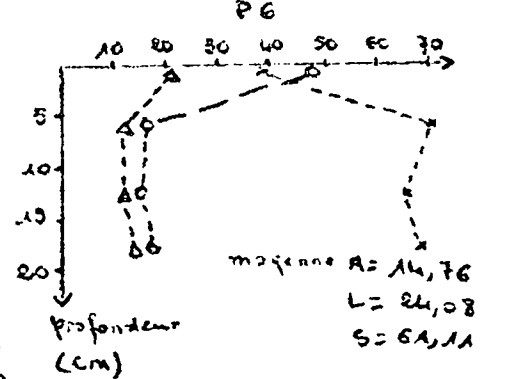
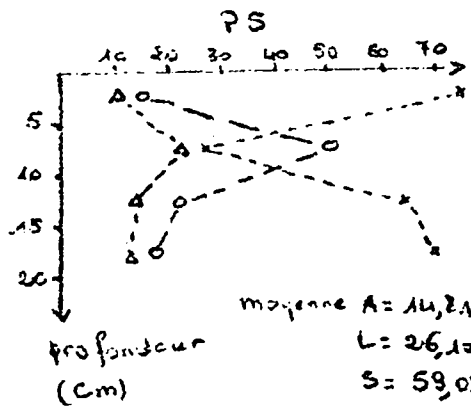
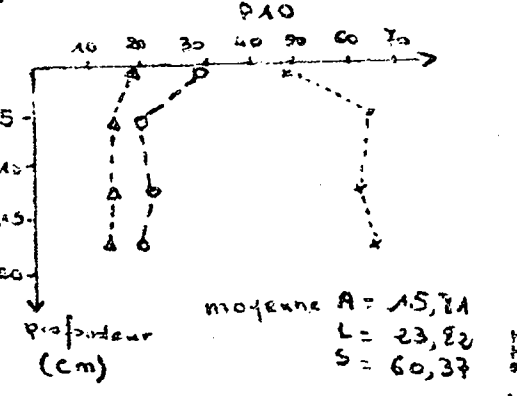
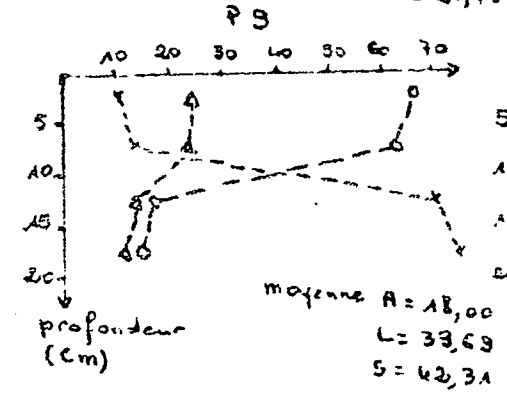
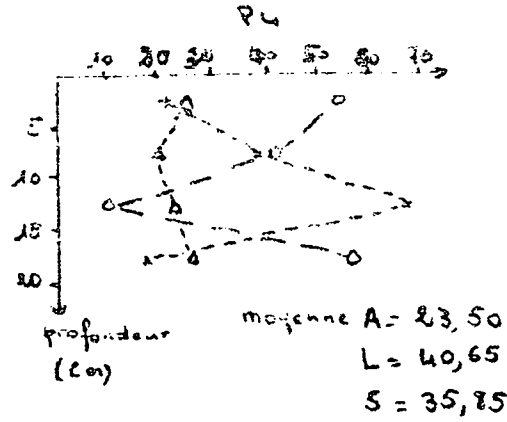
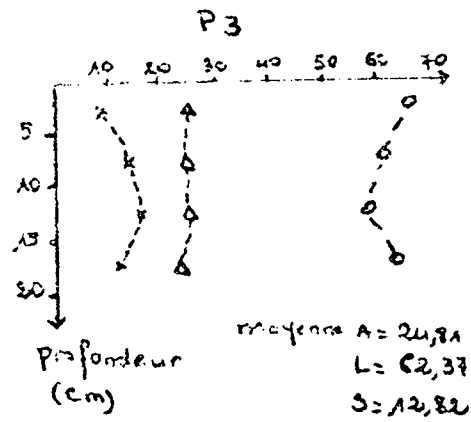
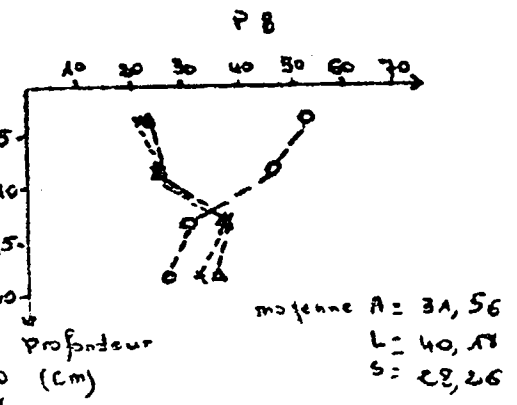
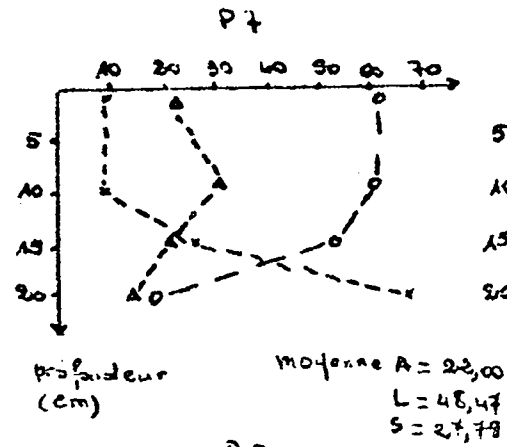
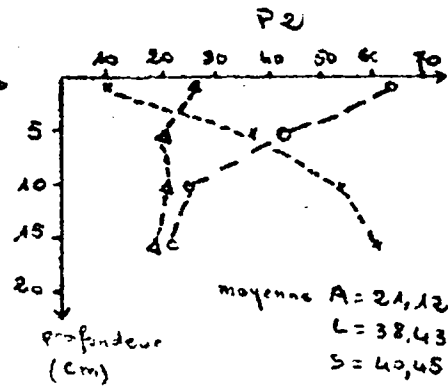
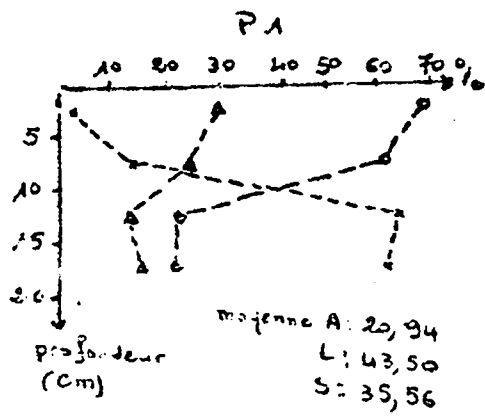
MATIÈRE ORGANIQUE (M.O.) : 7,5% C/N : 15
 ARGILE : 29,4% LIMONS : 63,5% SABLES : 7,4%
 MOYENNE : 29,4% ARGILE 63,5% LIMONS 7,4% SABLES
 M.O. : 7,5% C/N : 15

FIGURE 2.5.2. : Localisation des prélèvements de sol et du transect



surface :	0 cm	-	6448	m ²
	100 cm	-	5418	m ²
	200 cm	-	4024	m ²
	300 cm	-	3219	m ²
	400 cm	-	2467	m ²
	500 cm	-	1740	m ²
	600 cm	-	1085	m ²
	700 cm	-	605	m ²
	800 cm	-	403	m ²
	900 cm	-	233	m ²
	1000 cm	-	143	m ²
	1100 cm	-	53	m ²

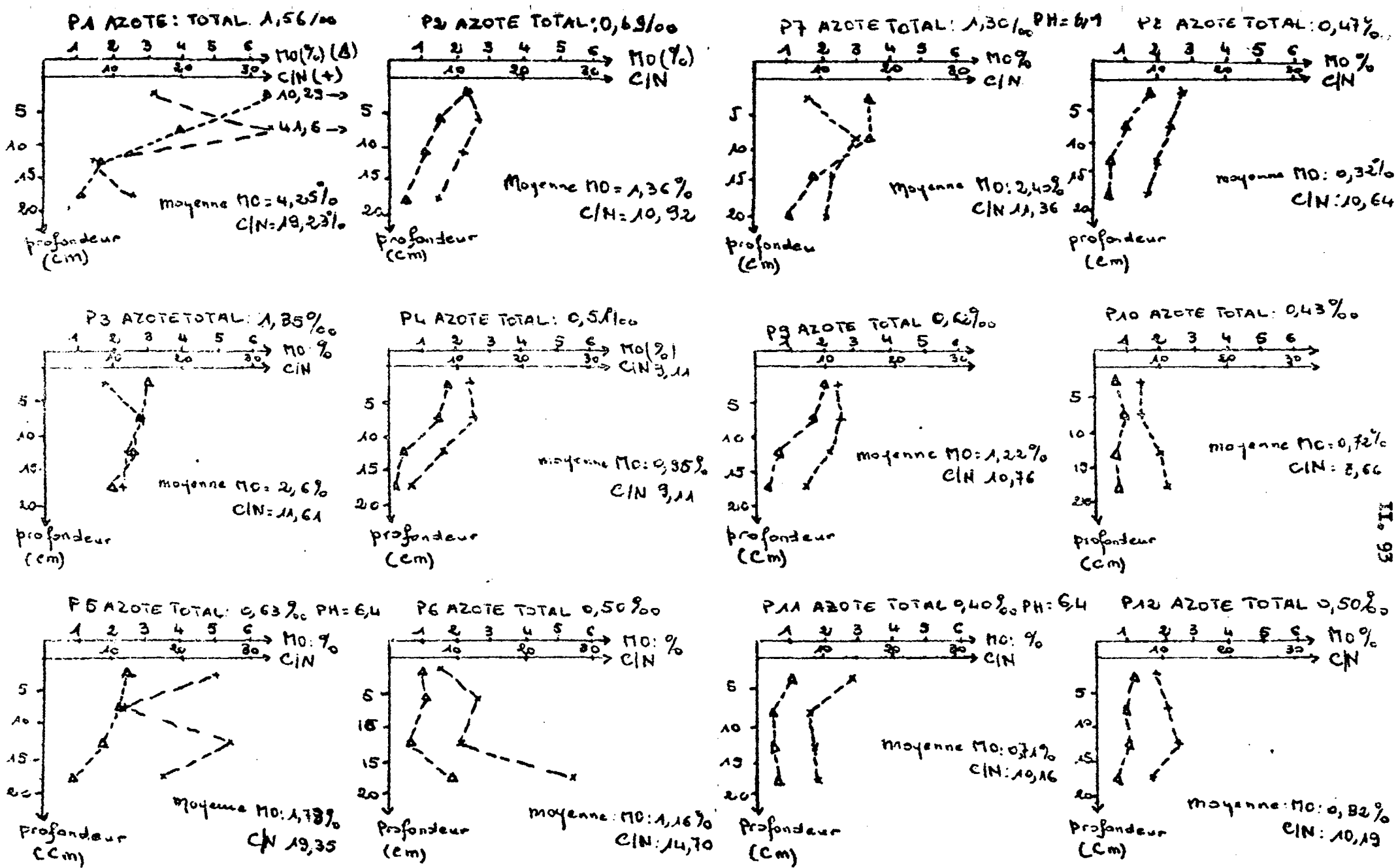
5 m



▲ argile
 ○ limons
 + sable

FIGURE 2.5.3. Granulométrie des échantillons de sol en amont de la digue de Sankondé-seuil.

▲ argile
 ○ limons
 + sable



Δ MATIERE ORGANIQUE (%)
 + RAPPORT C/N

FIGURE 2.5.4. : Teneur en matière organique des échantillons de sol en amont de Sankodé-seuil

Δ MATIERE ORGANIQUE (%)
 + RAPPORT C/N.

FIGURE 2.5.5. : Evolution de la texture du sol à l'amont de la digue en fonction de la position topographique (digue de Sankondé-seuil).

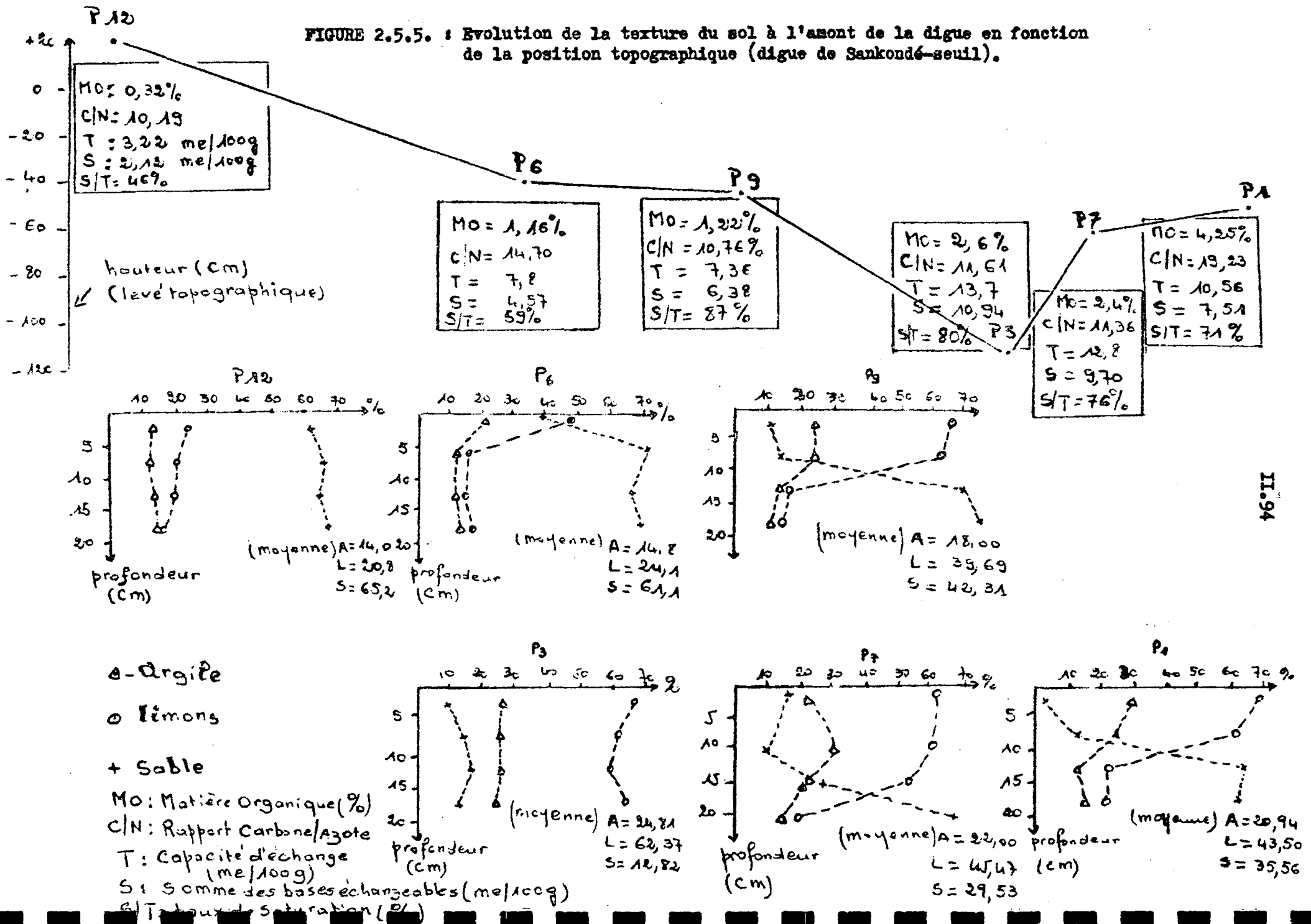


FIGURE 2.5.6. : Evaluation du taux de matière organique dans les 20 premiers centimètres du sol à l'amont de la digue en fonction de la distance à la digue (Sankondé - seuil)

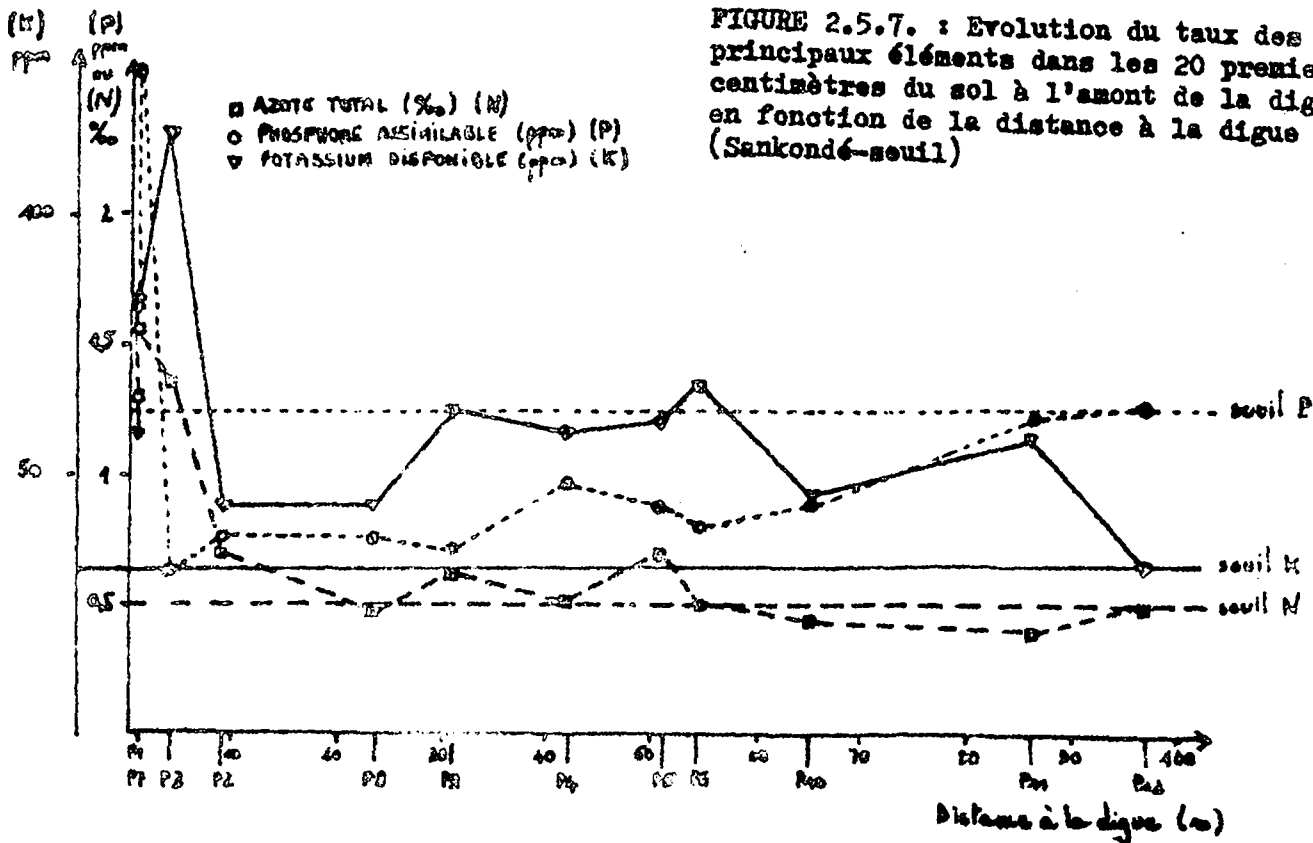
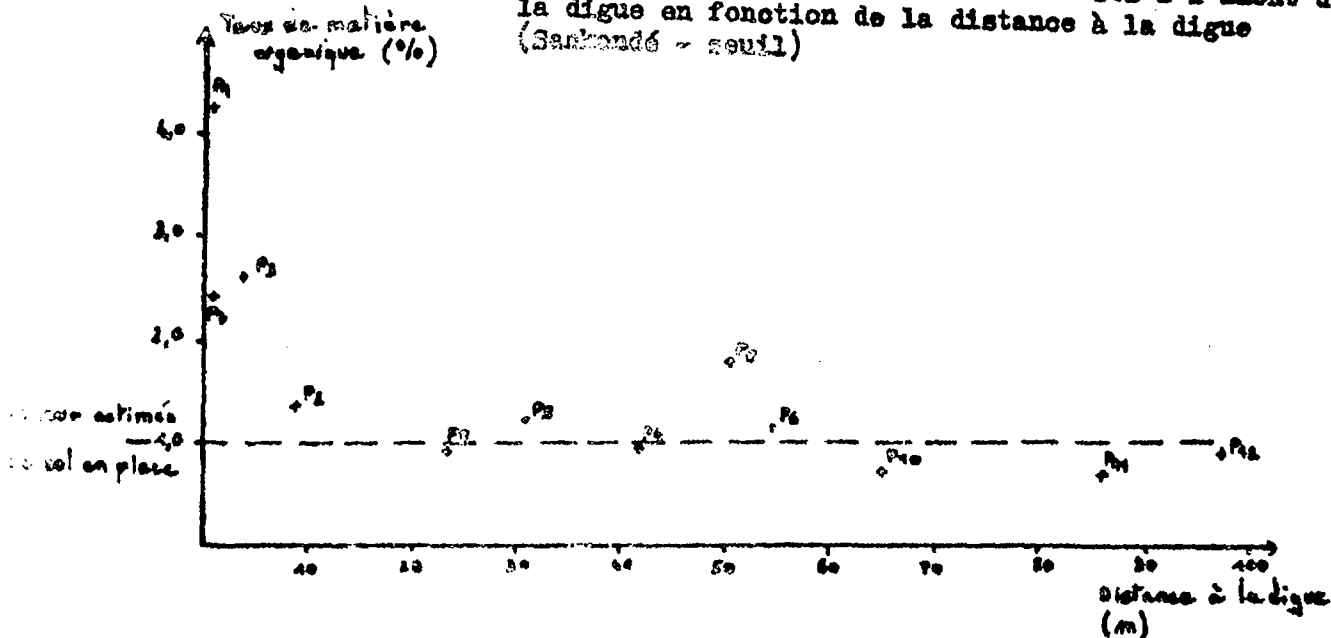


FIGURE 2.5.7. : Evolution du taux des principaux éléments dans les 20 premiers centimètres du sol à l'amont de la digue en fonction de la distance à la digue (Sankondé-seuil)

FIGURE 2.5.8. : Evolution du taux de bases échangeables dans les 20 premiers centimètres du sol à l'amont de la digue de Sankondé-seuil en fonction de la distance à la digue.

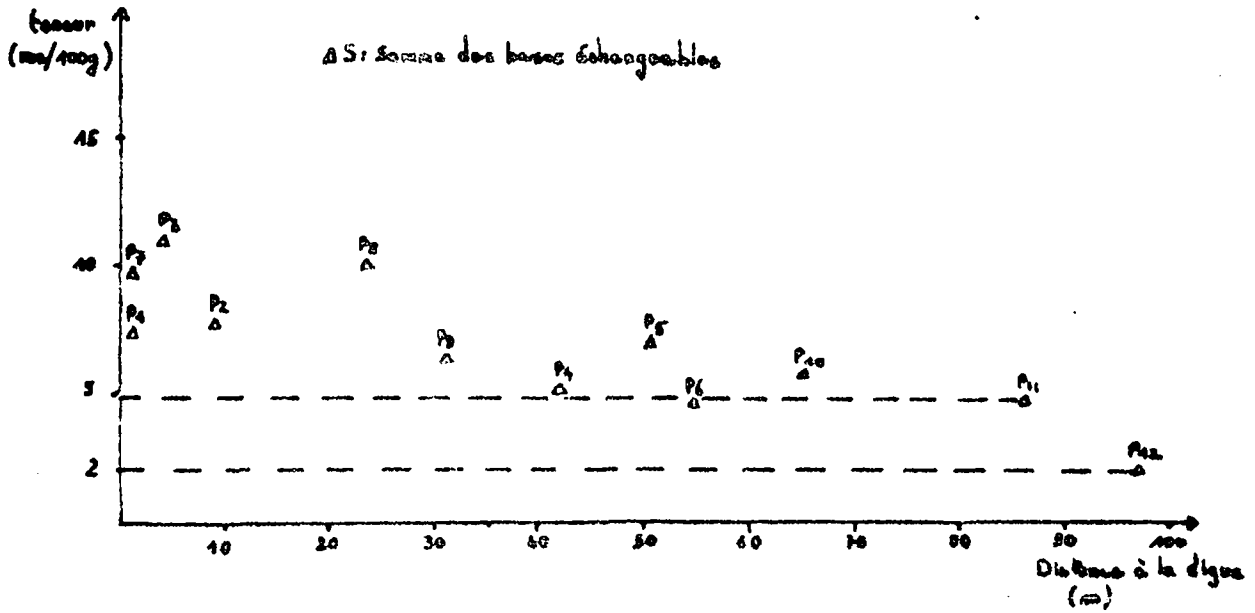
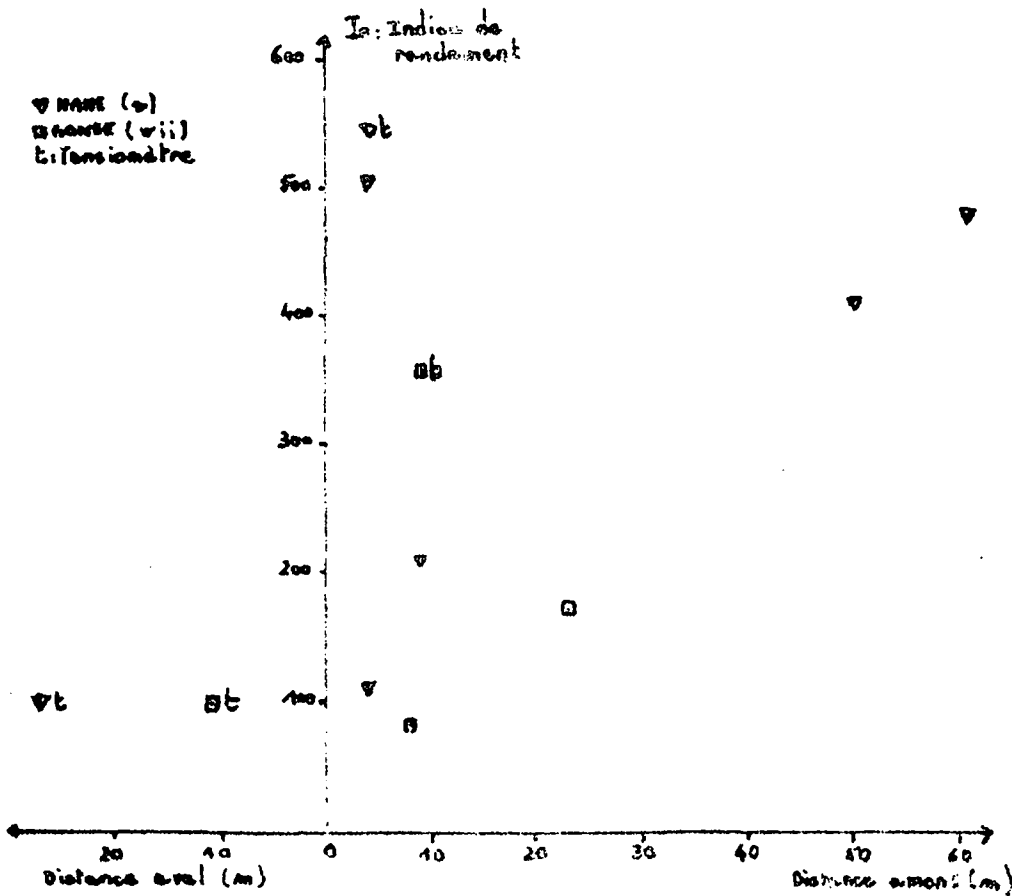


FIGURE 2.5.9. : Impact de la digue (amont-aval) sur le rendement



2.5.4. Utilisation et résultats agricoles :

2.5.4.1. Résultats obtenus :

a) Echantillons de récolte :

Le tableau 2.5.4, pages II-108 et 109 présente les résultats des mesures des échantillons de récolte de sorgho prélevés sur les différents sites. La signification des sigles figurant en tête des colonnes est la suivante :

- site : numéro du site tel qu'il figure dans le tableau 2.5.1 et sur les croquis de l'annexe 3.2. La date figurant sous chaque numéro est celle du prélèvement de récolte.
- N° : numéro de l'échantillon prélevé. Ce numéro est reporté sur le plan des sites en annexe 3.2. Les numéros entourés repèrent les échantillons prélevés à proximité d'un tensiomètre.
- D digue : distance du lieu de prélèvement à la digue mesurée perpendiculairement à celle-ci. Certains échantillons ont été prélevés à l'aval de la digue.
- Id : indice de distance. L'indice 100 est donné au prélèvement le plus éloigné de la digue.
- N épis : nombre d'épis comptés sur l'échantillon de récolte de 25 m²
- In : indice nombre d'épis. L'indice 100 est donné à l'échantillon le plus éloigné de la digue.
- P épis (g) : poids moyen des épis de l'échantillon de récolte
- Ipe : indice poids d'épi. L'indice 100 est donné à l'échantillon le plus éloigné de la digue
- P tiges (kg) : poids de l'ensemble des tiges de l'échantillon de récolte
- Ipt : indice poids de tiges. L'indice 100 est donné à l'échantillon le plus éloigné de la digue
- t/p : nombre de tiges par poquets
- H(m) : hauteur totale moyenne des pieds de l'échantillon
- Ih : indice de hauteur : l'indice 100 est donné pour l'échantillon le plus éloigné de la digue
- R brut (kg/ha) : rendement brut de l'échantillon de récolte de 25 m² exprimé en kg/ha : nombre d'épis x poids moyen de l'épi.
- R net (kg/ha) : rendement net de l'échantillon de récolte de 25 m² exprimé en kg/ha = rendement brut diminué des pertes de poids liées au rapport (poids des grains/poids total des épis) et aux pertes de poids des grains par séchage. Ce coefficient de perte figure au dessus de la première ligne correspondant au site considéré.
- Ir : indice de rendement net. L'indice 100 est donné à l'échantillon le plus éloigné de la digue.

Le coefficient de passage entre rendement "brut" et rendement net a été déterminé comme suit :
 Sur chaque échantillon de récolte, on a prélevé cinq épis pour lesquels on a mesuré le poids total et le poids des grains et calculé le rapport correspondant. Les résultats de ces mesures sont présentés en annexe 3.4.

Il a fallu ensuite corriger ces coefficients pour tenir compte de la perte de poids des grains qui résulte de leur séchage et qui varie entre 5 et 10% .

Le résultat de ces corrections est un coefficient figurant dans le tableau 2.5.4 : - 25 % pour les sites i à vii
 - 20 % pour le site viii
 - 30 % pour le site ix

b) Utilisation et résultats globaux :

On a fait figurer dans le tableau 2.5.5, pages II-110,111, l'ensemble des observations réalisées sur les seize sites choisis, en les regroupant géographiquement. Elles concernent :

- la position de la digue par rapport à une autre digue déjà étudiée ou dans une succession
- la répartition des parcelles entre exploitants
- l'année de construction de la digue
- la superficie de sorgho
- les autres cultures éventuelles
- la superficie totale cultivée
- les indications relatives à la culture de sorgho (variétés, dates de semis, sarclages et binages des récoltes et rendement en grain)

L'ensemble des observations a pu être obtenu pour tous les sites.

2.5.4.2. Discussion - Conclusions :

a) Echantillons de récolte :

On a essayé de quantifier, indépendamment des nombreux autres facteurs qui interviennent dans les résultats agricoles, l'impact de la digue sur la production de sorgho à l'amont.

- Impact Amont-aval :

Pour deux digues (Nané-tensiomètres et Gonsé-tensiomètres), on dispose d'échantillons prélevés à l'aval, à proximité du tensiomètre aval. On a reporté sur la figure 2.5.9, page II-96, les rendements nets des échantillons, en prenant comme indice 100 le rendement net de celui situé à l'aval, en fonction de leur position par rapport à la digue (les échantillons prélevés à proximité du point d'implantation des tensiomètres sont marqués d'un t).

L'impact positif de la digue apparaît clairement dans les deux cas. A Nané, le rendement ponctuel à l'amont varie de 1.1 à 5.4 fois le rendement ponctuel à l'aval. A Gonsé, cette variation est moins forte : de 0.8 à 3.6 fois le rendement ponctuel aval. Il faut noter la forte variation des rendements ponctuels obtenus immédiatement à l'amont, sans doute liée aux possibilités locales de drainage des eaux excédentaires.

Si l'on rapproche les résultats des rendements obtenus aux points d'implantation des tensiomètres, on constate que les faibles variations de comportement des tensiomètres constatées au paragraphe 2.4 entre amont et aval ne se retrouvent pas dans les résultats de rendements où l'on constate une variation de 545 % entre amont et aval à Nané et de 360 % à Gonsé. Les tensiomètres ayant été placés à des profondeurs supérieures à 50 cm, c'est donc sans doute la disponibilité de l'eau dans les couches superficielles du sol qui explique la différence.

Les résultats tendent à montrer l'importance éventuelle de deux facteurs pour l'obtention de rendements élevés :

- bon drainage des eaux excédentaires
- bonne alimentation en eau dans les couches superficielles du sol

- Variations à l'amont de la digue :

Afin d'étudier plus en détail l'impact des conditions de sol et d'humidité créées par la digue sur les résultats agricoles à l'amont, on s'est intéressé à la variation d'un certain nombre d'indicateurs en fonction de la distance à la digue. Il s'agit :

- des principales composantes du rendement : (page II-112 et 113)
 - nombre d'épis par échantillon (figure 2.5.10, page II-112)
 - poids moyen des épis de l'échantillon (figure 2.5.11, page II-113)
 - poids des tiges par échantillon (figure 2.5.12, page II-113)
- des rendements en grains nets des échantillons (figure 2.5.13, page II-113)

Chaque échantillon a été caractérisé par :

- un indice de distance permettant de comparer entre elles des digues dont la superficie exploitée à l'amont est différente.
- un indice pour chacune des grandeurs étudiées, pour pouvoir comparer entre elles, sur le plan de l'impact dans l'espace, des digues dont les résultats globaux sont différents.

L'indice 100 a été retenu pour l'échantillon le plus éloigné de la digue.

* Variation du nombre d'épis par échantillon de récolte :

L'examen de la figure 2.5.10 montre que les variations du nombre d'épis par échantillon varie dans des proportions relativement modestes : il y a moins de 50 % d'écart entre les échantillons comptant le plus de panicules et le témoin.

Les échantillons les plus proches des digues de Nané (v) et Gonsé (vii) présentent des nombres d'épis plus faibles que le témoin : on peut interpréter cette situation par le fait que ces

digues sont à l'aval d'autres digues dont l'effet peut se faire sentir également à l'aval. La densité de plants y est donc également élevée.

* Variation du poids des épis des échantillons de récolte :

On constate sur la figure 2.5.11 (page II-112) une nette différence entre les échantillons en fonction de leur distance à la digue. Le poids des épis les plus proches atteint parfois plus de deux fois le poids des épis les plus éloignés (On retrouve également une grande variation entre échantillons proches).

* Variation du poids des tiges : (figure 2.5.12, page II-113)

Bien que l'on dispose de moins d'échantillons sur lesquels ait été mesurée cette grandeur, on constate également un impact important de la proximité de la digue sur le poids des tiges récoltées.

* Variations du rendement net :

La figure 2.5.10 (page II-112) montre que, probablement, les digues ont un impact important sur le rendement des échantillons de récolte prélevés à l'amont, qui peut atteindre plus de deux fois celui des échantillons témoins. Cet impact peut se maintenir assez bien à l'amont de la digue, mais la variabilité est grande d'une digue à l'autre.

Le nombre d'épis par échantillons variant de façon modérée, il semble que ce soient surtout les variations du poids des épis qui expliquent les augmentations de rendement en grains.

Afin de vérifier cette constatation, on a essayé d'analyser plus finement les résultats obtenus :

Dans un premier temps, on a calculé le poids en grain de l'épi moyen de chaque échantillon en utilisant les mesures présentées en annexe 3.4. On constate que le rapport poids des grains / poids de l'épi varie assez peu (81.6 % pour les échantillons prélevés à l'amont des digues, avec un écart-type de 5.7 %, 84.4 % pour les échantillons des sites témoins, avec un écart-type de 3.6 %). Le poids en grain ainsi obtenu est ensuite diminué de 8 % pour tenir compte du séchage. Le rendement net ponctuel calculé en multipliant le poids en grain par le nombre d'épis est donc un peu différent de celui estimé plus haut.

On a ensuite analysé les séries d'observations suivantes :

1- une série de 35 observations concernant les échantillons prélevés à l'amont des digues.

2- une série de 14 observations concernant les échantillons prélevés sur les sites témoins.

pour lesquelles on dispose des données suivantes :

- nombre d'épis/m²
- poids moyen des épis
- poids moyen en grain de l'épi
- nombre de tiges par poquet
- rendement

et une troisième série de 20 observations concernant les échantillons prélevés à l'amont des digues, pour lesquels on dispose, en plus des données citées ci-dessus, du poids de tiges/m².

On a utilisé la régression linéaire multiple pour déterminer les facteurs les plus explicatifs des variations de rendement pour les trois séries d'observations, en appliquant pour chacune un modèle progressif.

Pour les deux premières séries d'observations, les variables les plus explicatives sont le poids des grains de l'épi moyen et le nombre d'épis au m². Cependant, l'analyse de la variance de chacune des séries montre :

pourcentage de variance expliquée par :	série 1	série 2
la régression	98%	89.9%
la variable poids des grains	80.8%	42.1%
la variable nombre d'épis/m ²	17.2%	47.8%

Pour la troisième série d'observations, on constate que la variable poids des tiges/m² est en compétition très étroite et redondante par rapport à la variable poids des grains (coefficient de corrélation rendement-poids des grains = 0.89, coefficient de corrélation rendement-poids des tiges = 0.93).

Sur les sites sans digues, les variations de rendement sont expliquées autant par le nombre d'épis au m², c'est à dire à la fois par la densité de semis, le nombre de pieds par poquets et le nombre de pieds fructifiés par rapport au nombre de pieds total, que par le poids des grains.

Sur les sites à l'amont des digues, 80 % des variations de rendement sont expliquées par les variations du poids des grains. Cela indique que l'augmentation de rendement est due à une meilleure croissance (qu'atteste également l'importance de la variable poids des tiges) et de meilleures conditions de fructification, dues à l'amélioration de la qualité du sol et de l'alimentation hydrique de la culture.

On a calculé pour chacun des échantillons la densité de semis en poquets/ha à partir des données disponibles et en supposant que chaque pied est fructifère ce qui conduit à une (légère?) surestimation :

densité de semis (poquets/ha)	moyenne	écart-type
des échantillons amont des digues	29500	5750
des échantillons des sites témoins	26700	7400

Ces densités moyennes, qui ne sont pas significativement différentes, sont relativement élevées (densités préconisées en culture pluviale : 10000 à 25000).

La hauteur moyenne des pieds a également été estimée :

hauteur des pieds (m)	moyenne	écart-type
des échantillons sur digues	4.0	1.0
des échantillons sur sites témoins	3.9	0.5

Ces valeurs, qui là encore, ne sont pas significativement différentes, sont également élevées.

On peut donc se demander si les améliorations de sol et de conditions d'alimentation hydrique apportées par les digues sont pleinement valorisées sur le plan du rendement en grains et s'il ne serait pas intéressant de tester :

- différents niveaux de densité de semis
- des variétés améliorées de taille plus courte que les variétés traditionnellement utilisées et de meilleur rendement grain/paille.

L'analyse des échantillons de récolte, si elle ne permet pas d'appréhender les résultats globaux, permet donc de quantifier certains facteurs agronomiques et met en évidence :

- les potentialités de rendements élevés que représentent les aménagements par digues filtrantes : plus de 4t/ha par endroit lorsque les conditions sont les plus favorables.
- la grande variabilité de ces rendements en fonction de la position de l'échantillon par rapport à la digue, et également en fonction des conditions locales de drainage.

rendements nets (kg/ha)	moyenne	écart-type
des échantillons sur digues	2500	1200
des échantillons sur sites témoins	1700	580

(Attention : ces chiffres sont des moyennes de rendements ponctuels d'échantillons de récolte, et ne doivent pas être confondus avec les résultats des rendements moyens globaux par parcelle)

b) Utilisation agricole des digues et résultats globaux :

- Utilisation agricole des digues :

L'analyse a été faite sur quatre villages principaux : Sankondé (5 digues et un site sans digue), Nané (2 digues et 1 site sans digue sur le territoire de Rissiam mais à proximité des digues de Nané), Gonsé (2 digues et un site sans digue) et Badinogo (4 digues). Dans la mesure du possible, on s'est intéressé à des successions de digues.

* La superficie totale cultivée :

est en moyenne sur l'ensemble des digues étudiées de 0.63 ha, mais avec une variabilité très forte (écart-type = 0.41 ha), les digues de Sankondé étant nettement plus importantes que celles des autres villages (1.04 ha contre 0.42 à Nané, 0.22 à Gonsé et 0.44 à Badinogo).

* Les cultures pratiquées :

La culture du sorgho est très largement majoritaire. Cependant, elle coexiste parfois avec des petites parcelles (arachide, coton, petit mil, tabac) situées à la périphérie (sur le côté ou à l'amont) de la superficie principale semée en sorgho qui bénéficie le plus de l'influence de la digue. Sur certains sites, la culture du sorgho est menée en association avec des haricots : il s'agit toujours de petites digues (0.13 et 0.30 ha) pour lesquelles le haricot permet un complément alimentaire ou monétaire.

* les exploitants :

Sur les cinq digues étudiées dans le village de Sankondé, trois au moins sont exploitées par des membres d'une même famille.

A Nané, les deux digues étudiées sont exploitées au moins en partie par le chef du village.

A Gonsé, les deux digues étudiées le sont par le même exploitant (dont le fils exploite le site sans digue proche).

A Badinogo, deux exploitants se partagent les quatre digues de la succession étudiée (l'un les deux digues amont, l'autre les deux digues aval).

Au total, 5 familles exploitent 12 des 13 digues étudiées. D'une manière générale, les digues construites avec l'aide de l'AFVP, le sont par un groupement villageois. L'aspect collectif de la construction ne se retrouve donc pas dans l'exploitation des investissements.

- La culture du sorgho :* date de semis :

Les variétés cultivées sont des variétés traditionnelles. De nombreuses d'entre elles sont photosensibles et sont dites à "jours courts". Elles épiant lorsque la durée du jour raccourcit et devient inférieur à une valeur limite. Pour une variété et un lieu donnés, la date de l'épiaison est donc à peu près fixe, et peu dépendante de la date de semis. Si le semis a été tardif, la plante arrivera à épiaison moins développée que si le semis a été précoce, donc le rendement risque d'en être diminué.

En augmentant la capacité de rétention de l'eau du sol, les digues filtrantes permettent de semer plus tôt dans la saison. C'est ce qu'on observe à Sankondé, où la date de semis (mi-mai) à l'amont des digues est située dès l'arrivée des premières pluies (cf annexe 1.4 : à Kongoussi le 20/05 sont tombés 15 mm de pluie), alors que le site témoin n'a été semé que début juin (pluviométrie à Kongoussi : 35-40 mm).

De plus, étant donné le mode de fonctionnement des digues (ralentissement des crues, donc submersion temporaire à l'amont) il est nécessaire que les pieds de sorgho soient suffisamment vigoureux lorsque les périodes de submersion-engorgement du sol vont devenir plus longues et plus fréquentes. Cela impose également un semi précoce.

La combinaison de ces deux facteurs est peut-être l'un des éléments d'explication (parmi d'autres possibles : comblement insuffisant des digues récentes, association avec les haricots ...) des résultats médiocres obtenus à la suite de semis tardifs à l'amont des digues de Gonsé (semis début Juin) et de Badinogo (semis le 11 Juin).

* Dates de récolte :

Dans l'ensemble, les sarclages-binages semblent avoir été faits dans des délais raisonnables. La date des récoltes se situe fin Octobre-début Novembre pour les sites avec digues et entre début et mi Novembre pour les sites sans digue. On retrouve ici le décalage observé dans les dates de semis. Ce décalage est difficilement explicable si l'on accepte l'hypothèse de photosensibilité des variétés utilisées (qu'il faudrait vérifier en notant la période d'épiaison). On pourrait invoquer le fait que les récoltes se fassent d'abord sur les sites avec digues où les rendements sont meilleurs et ensuite sur les sites sans digue, mais les exploitants sur les sites étudiés sont distincts (sauf à Gonsé où le décalage est d'ailleurs moindre qu'ailleurs). On peut également penser que les exploitants des sites sans digues attendent des pluies tardives (les dernières pluies ont eu lieu fin Septembre) au mois d'octobre qui permettraient un meilleur remplissage des grains, en supposant que la maturation ne soit déjà commencée ...

* rendements :

On a déjà évoqué l'influence de la date des semis sur le niveau de rendement des différentes digues étudiées. Les causes possibles des variations de rendement sont nombreuses. En écartant celles qui peuvent être dues aux erreurs de mesure (chiffres entre parenthèses), on peut faire les constatations suivantes :

. Comparaison échantillons-rendement global :

Si l'on compare pour les neuf sites sur lesquels ont pu être prélevés des échantillons de récolte, la moyenne des rendements nets ponctuels des échantillons et le rendement net obtenu sur l'ensemble de la superficie cultivée en sorgho (rendements calculés de la même façon), on obtient les résultats suivants :

Digue	1 : moyenne des échantillons t/ha	2: rendement net global t/ha	2 / 1 %
<u>Sankondé</u>			
i	2.60	2.21	85
ii	3.52	2.67	76
iii (*)	1.71	0.97	57
<u>Nané-Rissiam</u>			
iv	3.06	1.59	52
v	2.48	(0.75)	(30)
vi (*)	2.10	1.47	70
<u>Gonsé</u>			
vii	2.36	1.46	62
viii (*)	1.39	0.53	38
<u>Badinogo</u>			
ix	1.23	(0.64)	(52)

(*) : sites sans digue

() : résultats douteux (erreurs de mesures possibles)

Pour les sites avec digues, le rapport rendement net global / moyenne des échantillons de récolte varie entre 52 et 85 % . Pour les sites sans digue, il varie entre 38 et 70 % .

On peut conclure que, pour les sites sans digue, les échantillons de récolte ne sont pas assez nombreux ou non représentatifs de la parcelle étudiée. Pour les sites avec digues, on peut bien sûr admettre la même conclusion, mais il faut tenir compte de la situation particulière créée par la digue. Les échantillons ont été prélevés presque à coup sûr dans la zone d'influence de la digue, dans laquelle on peut constater une reconstitution du sol par les matériaux arrachés au bassin versant par l'érosion. Par contre, les superficies cultivées peuvent, elles, déborder de cette zone sur les côtés ou vers l'amont. Le rendement global mesuré est le rapport entre

digue. Les échantillons ont été prélevés presque à coup sûr dans la zone d'influence de la digue, dans laquelle on peut constater une reconstitution du sol par les matériaux arrachés au bassin versant par l'érosion. Par contre, les superficies cultivées peuvent, elles, déborder de cette zone sur les côtés ou vers l'amont. Le rendement global mesuré est le rapport entre la production obtenue et la superficie cultivée. Il peut donc inclure des zones qui ne bénéficient pas, ou très peu, de l'influence positive de la digue.

Cette remarque rend donc difficile la tentative de quantifier précisément l'impact global des digues sur le rendement. Il faudrait pour cela reprendre ou effectuer les levés topographiques de l'amont des digues et les matérialiser sur le terrain au moment de la récolte pour mesurer le rendement de la zone "sous influence".

* Position et âge des digues :

On a reporté ci-dessous les résultats des rendements obtenus sur les digues en les replaçant dans leur succession de l'amont vers l'aval.

	Sankondé		Nané		Gonsé		Badinogo	
	tensiomètre	seuil						
amont	(1.10) 2.21	(0.92) 2.67	(0.38) 0.87		(0.3) 0.87		(0.5) 0.84	
	(0.97) 1.16	(0.6) (2.73)	(0.44) (0.75)		(0.13) 1.46		(0.25) 0.88	
		(0.95) 1.21					(0.8) (0.64)	
aval							(0.14) 1.21	

les chiffres entre parenthèses sur la gauche sont les superficies en sorgho, en ha

La tendance, pour les digues de Sankondé et Nané, est d'obtenir des rendements décroissants de l'amont vers l'aval, pour des superficies sensiblement équivalentes. Cela peut sembler logique si l'on considère que l'ordre de construction est dans le même sens. Cela reste cependant à vérifier puisque les seules digues dont on connaisse l'année de construction sont :

- Sankondé-seuil amont : 1985 2.67 t/ha
- Sankondé-seuil milieu : 1985 (2.73 t/ha : résultat douteux)
- Nané amont : 1981 1.59 t/ha
- Nané aval : 1981 (0.75 t/ha : résultat douteux)

Pour les digues de Gonsé et Badinogo, petites digues pour la plupart, la tendance serait inverse : augmentation de rendement de l'amont vers l'aval. Là encore, les données en notre possession sont insuffisantes pour conclure si cela est lié ou non à l'ordre de construction :

- Badinogo amont : 1986 0.84 t/ha
- Badinogo milieu aval : 1986 (0.64 t/ha : résultat douteux)

concerné (conditions topographiques d'écoulement et d'apports solides). On peut par exemple, reprendre les chiffres concernant Sankondé et Nané cités plus haut :

Sankondé :		Nané :	
seuil amont	2.67 t/ha	amont	1.59 t/ha
seuil milieu	(2.73 t/ha)	aval	(0.75 t/ha)
tensiomètre amont	2.21 t/ha		

* autres observations :

De nombreux autres facteurs peuvent jouer sur les rendements. On peut citer comme exemple les éléments de réflexion suivants :

. Sur le site i, deux femmes exploitent chacune une parcelle située immédiatement à l'amont de la digue. Les rendements de ces parcelles sont 1.94 t/ha et 2.56 t/ha .
La différence est-elle due à des conditions topographiques et de sol ou au savoir faire de ces femmes ?

. Le site x, immédiatement à l'aval de i est exploité collectivement par un groupement de femmes. Le rendement de i est de 2.21 t/ha et celui de x est de 1.16t/ha.
La différence provient-elle de la position dans la succession des digues ou du mode de faire-valoir ?

II.108.

SITE	N° D digue (m)	Id	N épis	In	P épis (g)	Ipe	P tiges (kg)	Ipt	t/p	H (m)	Ih	R brut (kg/ha)	R net (kg/ha)	Ir
													(-25%)	
SANKONDE														
i	1 62	100	230	100	25	100	29	100	2 ou 3	3.25	100	2300	1725	100
	2 46	74	230	100	32	128	33	114	2 ou 3	3.50	108	2980	2235	130
	3 32	52	190	85	49	196	39	135	2 ou 3	4.00	123	3720	2790	162
(28/10)	4 5	8	290	126	41	164	52	179	3	4.25	131	4720	3540	205
	5 21	34	230	100	36	144	33	114	2 ou 3	3.75	115	3300	2475	143
	6 5	8	230	100	41	164	41	141	2 ou 3	4.25	131	3800	2850	165
moyenne			233											
													(-25%)	
ii	1 111	75	182	88	49	114	44	113	2	4.50	112	3580	2685	100
	2 147	100	207	100	43	100	39	100	2 ou 3	4.00	100	3580	2685	100
	3 123	84	190	92	54	126	35	90	2	4.00	100	4140	3105	116
	4 66	45	247	119	53	123			3	5.50	137	5200	3900	145
(29/10)	5 93	63	197	95	58	135			3	5.50	137	4580	3435	128
	6 5	3	212	102	62	144			3 ou 4	6.00	150	5220	3915	146
	7 5	3	275	133	50	116			4	5.75	144	5520	4140	154
	8 25	17	262	127	55	128			3 ou 4	5.75	144	5760	4320	161
moyenne			221											
													(-25%)	
iii	1		241		17				2 ou 3	3.50		1600	1200	
	2		180		35				2 ou 3	4.25		2520	1890	
(3/11)	3		220		24				2 ou 3	3.75		2100	1575	
	4		194		25				2 ou 3	3.50		1960	1470	
	5		220		37				2 ou 3	4.00		3240	2430	
moyenne			211											
													(-25%)	
NANE														
iv	1 5	10	202	106	52	115			2 ou 3	4.25	100	4180	3135	120
	2 5	10	240	126	45	100	53	115	2 ou 3	4.25	100	4320	3240	121
(28/10)	3 30	60	205	108	54	120	54	117	2 ou 3	4.25	100	4400	3300	129
	4 50	100	190	100	45	100	46	100	2 ou 3	4.25	100	3420	2565	100
moyenne			209											
													(-25%)	
v	1 27		100	48	22	44	9.5		2	2.5	63	880	660	21
	2 4	7	120	57	20	40	14.5		2	2.75	69	980	735	23
	3 61	100	210	100	50	100			3	4.00	100	4220	3165	100
(30/10)	4 50	82	230	110	39	78			3	4.25	106	3600	2700	85
	5 4	7	200	95	60	120			3	5.00	125	4800	3600	114
	6 4	7	250	119	44	68			3	4.75	119	4440	3330	105
	7 19	31	100	48	46	92			2	3.25	81	1940	1390	44
moyenne			173											

TABLEAU 2.5.4 : ECHANTILLONS DE RECOLTE

II.109.

SITE	N°	Digue (m)	Id	N épis	In	P épis (g)	Ipe	P tiges (kg)	Ipt	t/p	H (m)	Ih	R brut (kg/ha)	R net (kg/ha)	Ir
RISSIAH															
vi	1			181		34				2 ou 3	4.00		2460	1845	
	2			179		43				2 ou 3	4.75		3080	2310	
(4/11)	3			120		54				2	4.75		2600	1950	
				140		54				2	4.75		3040	2280	
moienne				155											
GONSE															
vii	1	8	35	113	46	28	104			2 ou 3	2.75	78	1260	945	47
	2	23	100	244	100	27	100			4 ou 5	3.50	100	2680	2010	100
(25/10)	3	9	39	252	103	55	204			4 ou 5	4.25	121	5520	4140	206
	4	11		170	70	23	85			2 ou 3	2.50	71	1540	1155	57
moienne				195											
viii															
viii	1			130		44				2 ou 3	3.50		2300	1840	
	2			168		38				2 ou 3	3.50		2540	2032	
(4/11)	3			50		18				1 ou 2	3.00		360	288	
	4			118		31				2 ou 3	3.50		1480	1184	
	5			100		50				2 ou 3	4.00		2000	1600	
moienne				112											
BADINOGO															
ix	1	71	75	120	86	20	91	12	77	2	2.25	90	960	672	77
	2	95	110	140	100	22	106	15.5	100	2	2.50	100	1240	868	100
	3	63	66	150	107	29	132	19	123	2	3.00	120	1760	1232	142
(30/10)	4	30	32	160	114	34	155	22	142	2 ou 3	3.25	130	2160	1512	174
	5	18	19	136	97	34	155	19	123	2	3.25	130	1860	1302	150
	6	5	5	140	100	46	209	36	232	2	4.25	170	2600	1820	210
moienne				141											

TABLEAU 2.5.4 (SUITE): ECHANTILLONS DE RECOLTE

N°	position	exploitants et parcelles	année de construction	Caractéristiques de la digue	Superficie sorgho	Autres cultures	Superficie totale cultivée	variétés semis	SORGHO sarclage début	récolte fin	rendement	
SANKONDE												
i	Sankondé-tensionnières	sorgho: δ: femme du fils de Kouloubila δ: femme de Kouloubila	1984	pierres pas bien empilées	1.10 ha	C:coton 0.29 ha P:petit mil 0.14 ha	1.53 ha	RAWOUNGA 17/05	sarclage début 06 binage début 08	fin 10	δ:1.94 t/ha δ:2.56 t/ha r moyen : 2.21 t/ha	
x	digue à l'aval de i	champ des femmes sorgho:2 parcelles δ:0.43 ha δ:0.54 ha	?	pierres pas bien empilées	0.97 ha	A:arachide 0.22 ha en 2 parcelles	1.19 ha	? ?	? ?	? ?	δ:1.37 t/ha δ:1.00 t/ha r moyen : 1.16 t/ha	
ii	digue à l'avant de Sankondé-seuil (proche de i)	fils de Kouloubila	1985	digue principale à l'aval non finie et pierres pas bien empilées, + 2 petites digues à l'avant	0.92 ha	---	0.92 ha	GNOUNGA 15/05	sarclage début 06 binage début 08	début 11	2.67 t/ha	
xi	digue de Sankondé-seuil	Kouloubila	1985	digue étudiée en détail (cf chapitres précédents)	(0.6 ha)	---	0.6 ha	? ?	? ?	? ?	(2.73 t/ha)	
xii	digue aval de xi	M. X	?	digue en mauvais état	0.95 ha	---	0.95 ha	? ?	? ?	? ?	1.21 t/ha	
iii	site sans digue	Chef du village de Sankondé	--	---	0.30 ha	haricots en association	0.30 ha	BEMA RAWOUNGA SOSSA	début 06 mi 06 binage fin 07	sarclage mi 11	0.97 t/ha	
RISSIAM												
vi	site sans digue près de la ravine des digues de Hané	Fils du chef du village	--	---	0.30 ha	---	0.30 ha	GNOUNGA	jour du Ramadan	sarclage 8j après semis binage 30j après	mi 11	1.47 t/ha

TABLEAU 2.5.5 : UTILISATION ET RESULTATS AGRICOLES

n°	position	exploitants et parcelles	année de construction	Caractéristiques de la digue	Superficie sorgho	Autres cultures	Superficie totale cultivée	SORGHO			
								variétés semis	sarclage binage	récolte	rendement
NANÉ iv	Nané-seuil	sorgho: chef du village 2 femmes	1981	digue déjà étudiée	0.38 ha	petit mil	10.4 ha	parcelle variété "de 70 jours"	mi 05 sarclage début 06 binage début et	fin 10 fin 07	1.59 t/ha
v	Nané - tensionmètres à l'aval de iv	chef du village	1981	pierres bien empilées mais digue mal nivelée	0.44 ha	--	0.44 ha	70 jours mil rouge	mi 05 sarclage début 06 binage début et	fin 10 fin 07	(0.75 t/ha)
GONSE vii	Gonsé - tensionmètres	Sawadogo	1985	petite digue pierres bien empilées	0.13 ha	haricots en association	0.13 ha	BEMA	début 06 mi 06 binage début 08	fin 10	1.46 t/ha
viii	digue à l'amont de vii	Sawadogo	?	idem vii	0.30 ha	haricots en association	0.30 ha	?	?	?	0.87 t/ha
viii	site sans digue	fils de Sawadogo	---	---	0.62 ha	---	0.62 ha	BEMA RABOUNEA	début 06 mi 06 binage début 08	début 11	0.53 t/ha
BADINIGO xvi	digue anent	Gombraogo	1986	non consolidée	0.50 ha	---	0.50 ha	?	?	?	0.84 t/ha
xv	digue aval de xiv	Gombraogo		mauvais état	0.25 ha	---	0.25 ha	?	?	?	0.88 t/ha
xv	digue aval de xv	Kapaoguan	1986	digue courte non consolidée	(0.80 ha)	petit mil tabac	0.85 ha	GUSSEMI	11/06 mi 06 binage début 08	fin 10	(0.64 t/ha)
xiv	digue aval de ix	Kapaoguan		mauvais état	0.14 ha	---	0.14 ha	?	?	?	1.21 t/ha

TABLEAU 2.5.5 (suite) : UTILISATION ET RESULTATS AGRICOLES

FIGURE 2.5.10 : Variations du nombre d'épis par échantillon de récolte de 25 m² en fonction de la distance à la digue

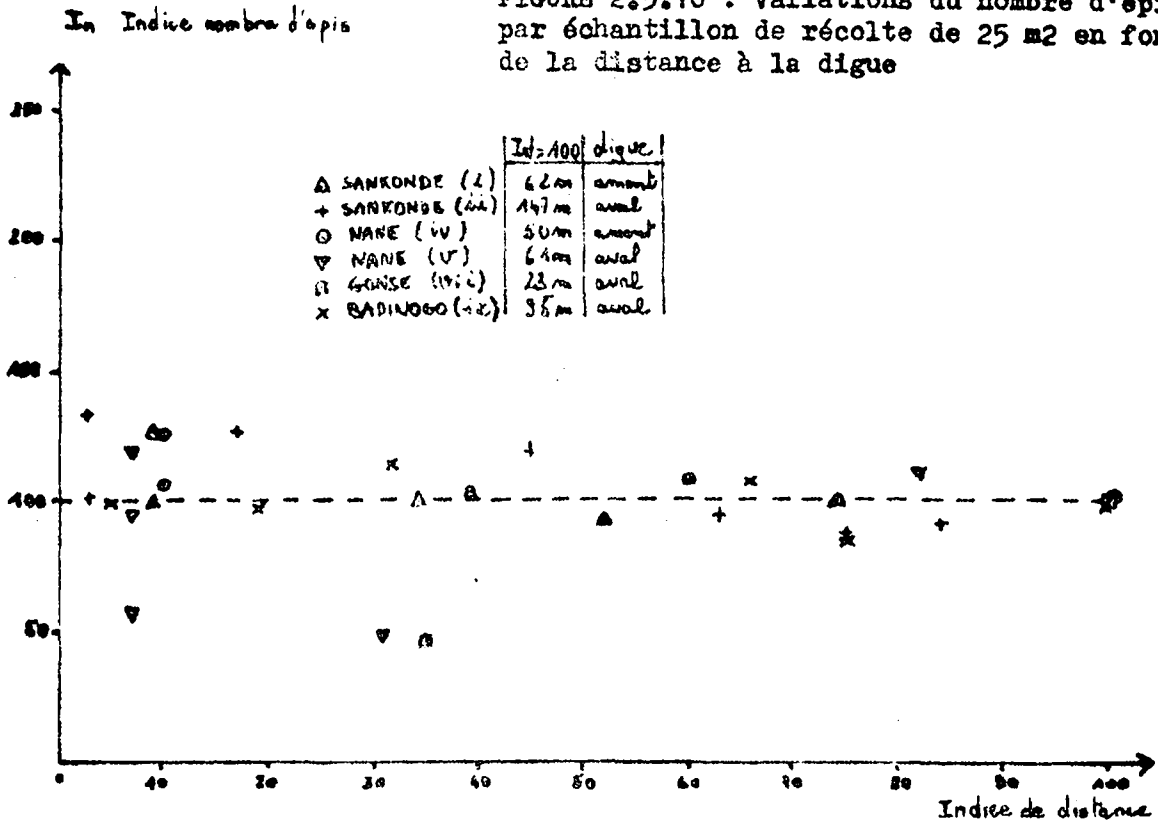


FIGURE 2.5.11 : Variation du poids moyen des épis des échantillons de récolte de 25 m² en fonction de la distance à la digue.

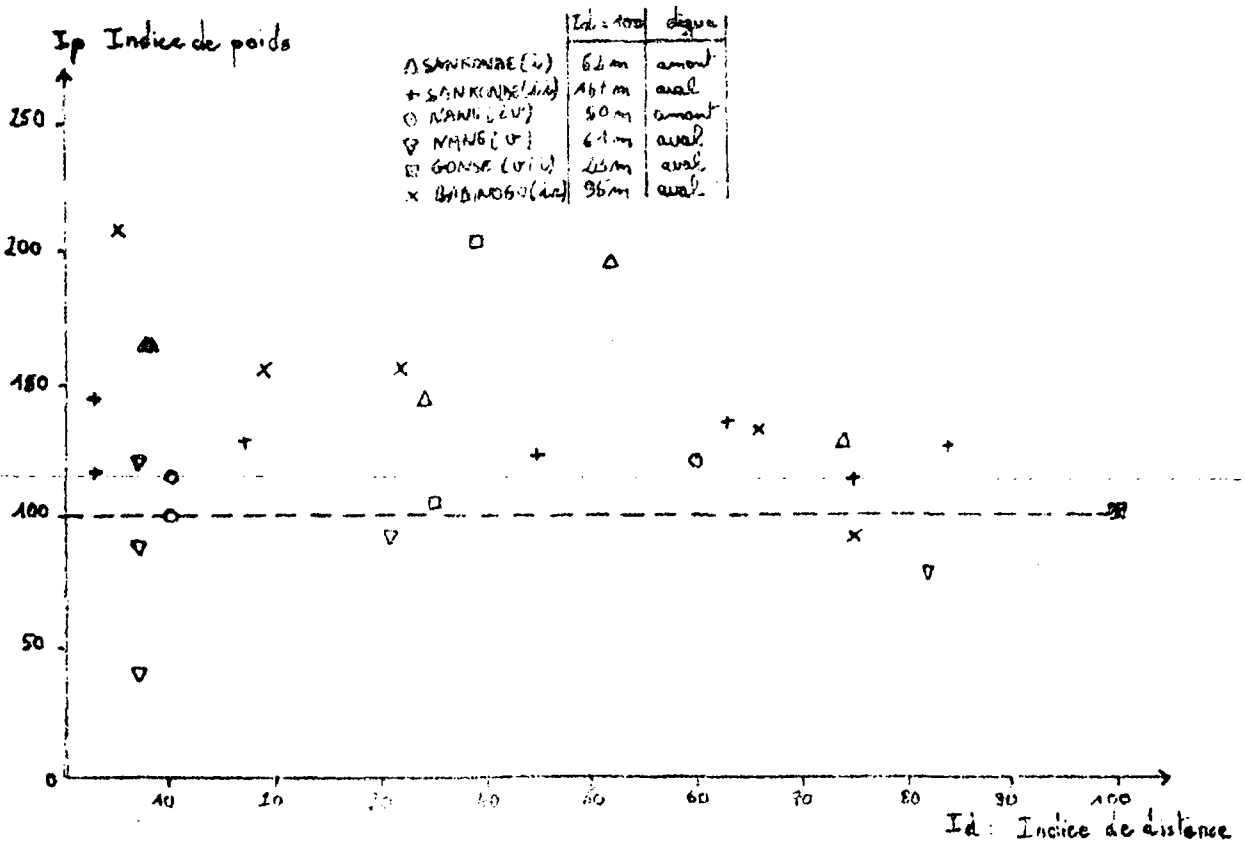


FIGURE 2.5.12 : Variation du poids des tiges des échantillons de récolte de 25 m² en fonction de la distance à la digue

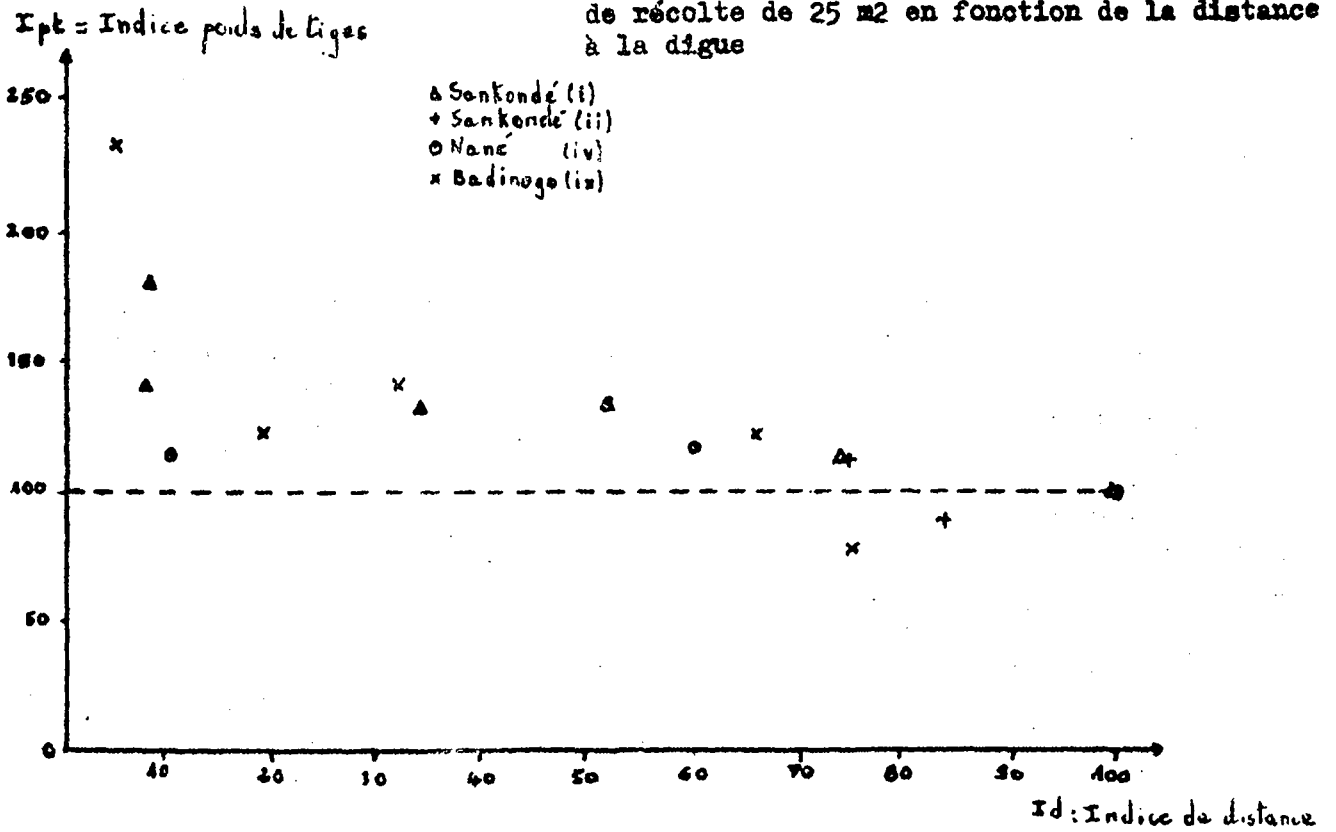
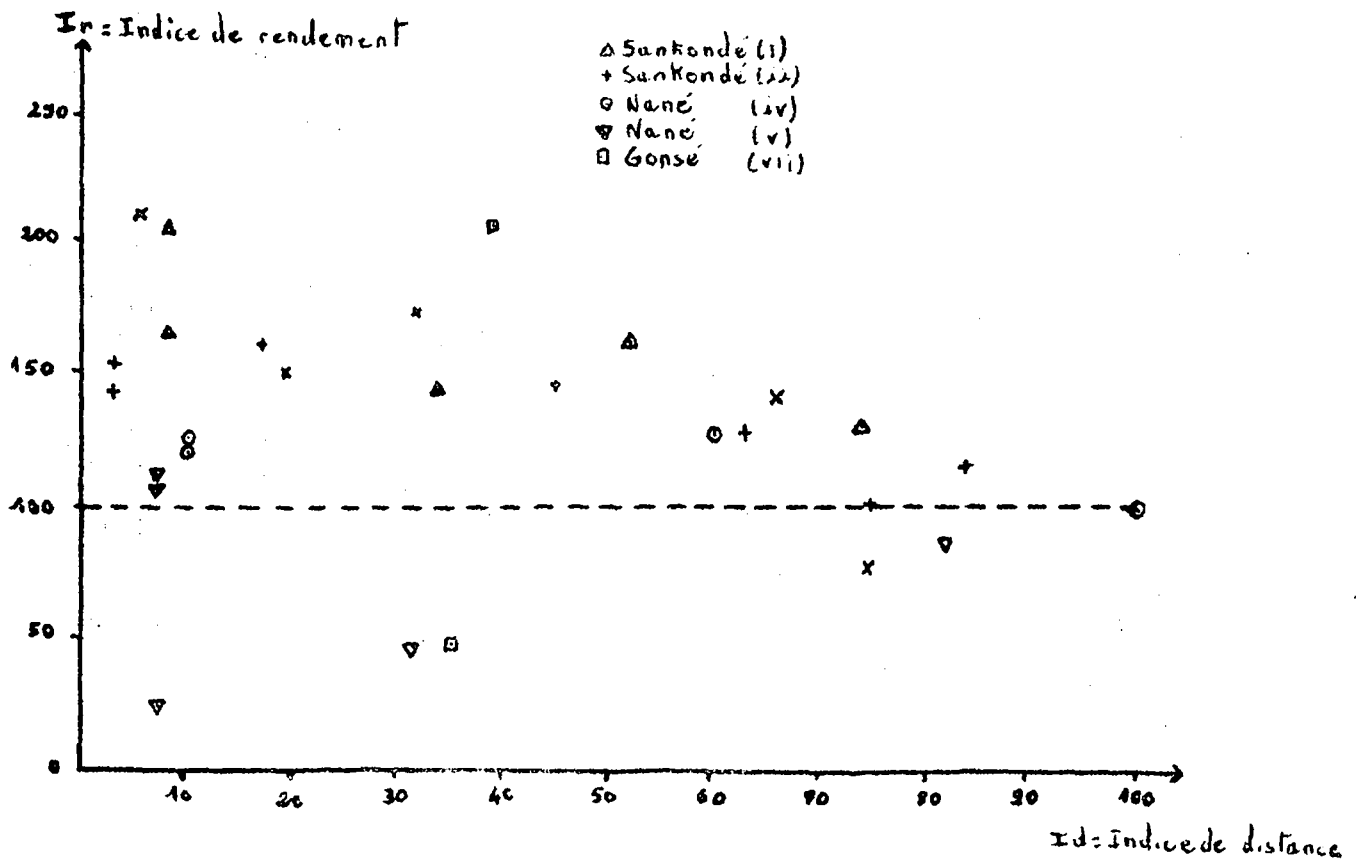


FIGURE 2.5.13 : Variations du rendement net des échantillons de récolte de 25 m² en fonction de la distance à la digue



2.5.5. Conclusion - Recommandations :

2.5.5.1. Conclusion :

Aménagements de conservation des eaux et des sols, les digues filtrantes constituent également des sites privilégiés d'intensification de la production agricole. Leur impact, dans la région de Rissiam, sur les conditions de reconstitution du sol et d'alimentation en eau des cultures est indéniable. Cela dit, elles supposent, pour être efficaces, des modifications ou des adaptations des systèmes de culture traditionnels (adaptation des cultures pratiquées aux conditions de drainage des sols, modifications des dates des semis, etc ...). Si ces conditions ne sont pas remplies, les résultats obtenus peuvent être peu probants, et parfois, cela s'est produit, peu différents à l'aval et à l'amont des digues.

Cependant, les potentialités de production de ces aménagements, qu'on a pu entrevoir par l'analyse d'échantillons de récolte, sont élevées. Il reste néanmoins à tester si ces potentialités ne pourraient pas être mieux valorisées sur le plan technique (utilisation de variétés plus productives, ...) sous réserve de la faisabilité socio-économique de ces améliorations techniques.

2.5.5.2. Recommandations :

Des analyses de sol assez nombreuses ont été faites sur une profondeur de 20 cm à l'amont de la digue de Sankondé-seuil. On peut penser que la répartition dans l'espace des caractéristiques chimiques et physiques des échantillons analysés est relativement représentative, au moins pour les tendances observées, des autres digues de la région de Rissiam.

Il manque par contre une description et des analyses de sol à des profondeurs plus importantes dans la zone explorée par les racines, ainsi qu'un certain nombre de mesures (densité apparente du sol en place) permettant de quantifier les propriétés hydriques des sols.

Des observations sur les récoltes ont par ailleurs été faites. Il n'y a pas eu, malheureusement, d'analyse de la récolte sur la digue où ont été faites les analyses de sol, ni d'analyse de sol des digues sur lesquelles ont été faites les analyses sur les récoltes.

Pour la suite de l'étude, on peut donc recommander les travaux suivants :

1-Reprise de l'ensemble des sites sur lesquels ont été faites les observations sur les récoltes. Sur chacun d'eux, on procédera :

- au creusement et à l'observation d'un profil pédologique (après la culture)

- au prélèvement d'échantillons de sol des différents horizons constatés :

- dans le fond du thalweg pas très loin de la digue (épaisseur de sol reconstitué la plus profonde)
- en dehors de la zone des dépôts solides dus à la digue

- au recueil des observations complémentaires manquantes (âge de la digue, etc...)

2-Observation des récoltes relativement précise sur la digue de Sankondé-seuil, aux points de prélèvements des échantillons de sol analysés en 1986, afin de pouvoir établir la relation entre analyses de sol et analyses de récolte.

3-Le nouveau site (de bas-fond) équipé pour les mesures hydrauliques et d'infiltration fera également l'objet d'une analyse agronomique:

- Il serait souhaitable que la zone amont de ce site soit mise en culture partiellement en riz, partiellement en sorgho, pour pouvoir effectuer des comparaisons utiles sur l'adaptation des cultures du site.

- Il sera procédé à :

- un profil pédologique dans la zone la plus profonde (après la culture)
- des prélèvements d'échantillons en 6 points d'un transect oblique par rapport à l'axe du thalweg de façon à obtenir des points proches de la digue et loin de la digue et coupant néanmoins transversalement le thalweg.
- une analyse de la récolte obtenue sur les deux cultures et aux points de prélèvement des analyses de sol.

2.6. CONCLUSION :

2.6.1. Fonctionnement hydraulique des digues filtrantes :

On a constaté , à partir d'un certain niveau de débit, l'existence d'une relation linéaire entre débit et surface de filtration. L'interprétation et l'extrapolation des résultats obtenus nécessite que l'on étudie plus en détail l'influence :

- de la dimension et de l'agencement des blocs
- de l'âge et de l'importance des dépôts solides

sur les coefficients de cette relation.

Des mesures de vitesse d'infiltration in situ permettront d'exploiter les résultats du limnigraphe placé à l'amont de la digue de Sankondé-seuil et de déterminer les volumes d'eau infiltrés ainsi que le laminage des crues par la digue.

Enfin, on constate que ,pour le dimensionnement des digues, le facteur essentiel à connaître est la hauteur de déversement admissible. Des observations plus précises sur les matériaux utilisés et leur comportement lors du déversement devraient permettre d'estimer ce paramètre.

Les mesures et observations effectuées ont permis d'ébaucher une méthode de dimensionnement des digues. Les mesures et expérimentations proposées pour la prochaine campagne ont pour but de vérifier et de caler les paramètres utilisés dans cette méthode.

2.6.2. Le calcul de la crue de projet : coefficients de ruissellement sur petits bassins versants .

Les mesures effectuées sur un certain nombre de petits bassins de la région de Rissiam ont permis de calculer les lames d'eau ruisselées sur ces bassins et d'en déterminer quelques facteurs explicatifs. On a pu, en particulier, déterminer la variation de cette lame d'eau en fonction de la hauteur de l'averse correspondante.

En supposant que la crue décennale soit provoquée par l'averse décennale, on peut donc calculer le coefficient de ruissellement correspondant, et, en utilisant la méthode Rodier-Auvray (ORSTOM) en déduire , à l'aide d'hypothèses sur la forme des hydrogrammes, le débit maximum de crue correspondant.

On constate que, par rapport aux bassins de la même petite région (et de même ordre de grandeur de superficie) étudiés par l'ORSTOM, il y a une vingtaine d'années, les coefficients de ruissellement obtenus sont supérieurs aux anciennes valeurs.

Ces résultats sont, bien sûr, partiels et devront être confirmés par :

- l'analyse plus détaillée des bassins versants (en particulier topographie, morphopédologie et occupation des sols) déjà étudiés.
- la réalisation de mesures exploitables sur un nombre plus important de bassins couvrant des superficies intermédiaires ou plus importantes.

Les résultats obtenus conduisent à évaluer le dimensionnement actuel des digues et à conclure à une tendance au sous-dimensionnement. Là encore, on constate l'importance essentielle du choix de la lame d'eau déversante admissible pour le dimensionnement des digues.

2.6.3. L'infiltration à l'amont des digues :

L'évaluation de l'infiltration à l'amont des digues est à considérer sous deux angles distincts concernant :

- l'alimentation hydrique des cultures, donc dans la zone explorée par les racines
- la recharge possible d'éventuelles nappes souterraines

L'estimation des volumes d'eau infiltrés nécessite la connaissance des vitesses d'infiltration qui, on l'a vu, doivent faire l'objet de mesures spécifiques in situ.

L'évolution des conditions d'humidité du sol a été suivie par l'installation et le relevé périodique de tensiomètres à différentes profondeurs. On constate qu'elles sont, en permanence et sur une épaisseur du sol importante, proches de la capacité de rétention. Les risques d'engorgement temporaire ne sont sans doute pas négligeables localement.

Dans certains cas, on ne constate pas de différence notable entre tensiomètres amont et aval situés dans l'axe du thalweg et placés à des profondeurs supérieures à 50 cm. Cependant, les résultats de rendement obtenus par ailleurs aux mêmes points d'observation montrent des différences importantes dues sans doute aux conditions d'humidité et de sol en surface. Il existe sans doute des communications (écoulements) entre amont et aval à une certaine profondeur.

Dans certains cas, les résultats obtenus peuvent permettre de conclure à la possibilité de recharge d'une éventuelle nappe. Dans d'autres, il semble que cette recharge ne se fasse pas. Pour pouvoir évaluer de manière plus précise et moins ponctuelle cette recharge, il serait nécessaire de mener une étude beaucoup plus

systématique avec en particulier l'implantation de piezomètres qui nécessite des moyens mécaniques importants et la caractérisation géomorphologique de chacun des sites.

2.6.4. Impact agricole des digues filtrantes :

L'évaluation de l'impact agricole des digues filtrantes a été faite en étudiant :

- la reconstitution des sols et leurs qualités physico-chimiques
- l'utilisation et les résultats agricoles de ces sols

2.6.4.1. Reconstitution des sols et leurs qualités physico-chimiques :

La reconstitution et la qualité du sol reconstitué ont été étudiées de manière privilégiée sur un site (digue de Sankondé-seuil). Sur ce site, l'estimation du volume annuel des dépôts correspond à une dégradation spécifique comparable à celle observée dans d'autres parties du pays sur des bassins versants beaucoup plus importants.

Le sol reconstitué a une composition granulométrique très différente de celle du sol en place : il est de texture limono-argileuse, alors que le sol en place est de texture sablo-limoneuse. Cette différence de texture s'accompagne de propriétés hydriques favorables sur le plan de l'alimentation en eau des cultures. Des mesures de densité apparente seront à réaliser lors de la prochaine campagne afin de quantifier de façon plus précise la réserve utile et la porosité de ce type de sol.

L'impact de la digue sur la qualité chimique du sol à l'amont est assez limité dans l'espace : le taux de matière organique est très important (par rapport au témoin) dans les dix premiers mètres à l'amont mais décroît très rapidement au delà. Il en est de même pour les principaux éléments minéraux (N,P,K).

Il est bien sûr très délicat d'extrapoler à partir des résultats d'analyses de ce seul site (on a pu constater par exemple que les dépôts à l'amont de la digue de Nané sont encore plus argileux), et des analyses de sol moins nombreuses mais plus systématiques sur d'autres sites seront à effectuer lors de la prochaine campagne pour confirmer ou nuancer ces premiers résultats.

Néanmoins, il semble que l'amélioration de la qualité du sol à l'amont des digues soit plus due aux propriétés physiques qu'aux caractéristiques chimiques des dépôts.

2.6.4.2. Utilisation et résultats agricoles :

Les résultats agricoles obtenus à l'amont des digues ont été étudiés de deux manières :

- par le prélèvement et l'analyse d'échantillons de récolte de sorgho sur différents sites, afin d'analyser les principaux facteurs de variation du rendement, les variations dans l'espace de l'impact des digues, les potentialités agricoles mais aussi les conditions d'obtention de bons rendements.
- par l'étude de l'utilisation et des résultats globaux obtenus sur les parcelles mises en cultures à l'amont des digues.

L'analyse des échantillons de récolte montre que 80 % de la variance des résultats de rendement obtenus à l'amont des digues sont expliqués par la variable poids en grains, contre 17 % expliqués par le nombre d'épis au m². L'impact de la digue semble donc bien dû à l'amélioration des conditions de croissance et de fructification rendue possible par celle des conditions de sol et d'alimentation hydrique.

Cependant, la variabilité de ces résultats est forte, en particulier entre échantillons prélevés sur un même site immédiatement à l'amont de la digue : cela indique l'importance des conditions de drainage pour la culture de sorgho, et devrait conduire à s'interroger, dans certains cas où le drainage s'effectue mal, sur la nécessité d'introduire des variétés adaptées.

On peut également s'interroger sur les possibilités d'une meilleure valorisation des potentialités reconnues sur ce type d'aménagements par l'introduction des variétés à tiges plus courtes et plus productives en grains, sous réserve de la faisabilité socio-économique de ce type de modifications techniques.

Dans la région de Rissiam, le sorgho est la principale culture exploitée à l'amont des digues. On trouve parfois de petites parcelles (arachide, coton, petit mil, tabac) implantées en périphérie de la zone d'influence de la digue, ou des cultures de haricot en association au sorgho. L'exploitation des digues étudiées semble assez concentrée entre les mains de quelques familles, alors que la réalisation des ouvrages est en général collective.

Les résultats obtenus en termes de rendement moyen global par parcelle sont inférieurs à ceux obtenus en faisant la moyenne des échantillons de récolte. Cela s'explique à la fois par le nombre restreint d'échantillons prélevés et par le fait que les exploitants ont peut-être tendance à cultiver en dehors de la zone influencée par la digue. La variabilité des résultats est, là encore importante, mais on peut atteindre des niveaux élevés (entre 0.8 et 2.7 t/ha sur l'échantillon de sites étudiés) par rapport aux sites témoins (entre 0.5 et 1.5 t/ha).

Parmi les facteurs explicatifs des variations constatées, on peut citer :

- la nécessité de semer plus tôt à l'amont des digues que sur les parcelles pluviales traditionnelles. Ce semis plus précoce permet, compte tenu du caractère photosensible des variétés de sorgho généralement utilisées, de valoriser l'aménagement et d'éviter des dégâts dus à la submersion au début de cycle végétatif.

- l'importance du facteur bassin versant qui intègre la sensibilité à l'érosion, et donc le volume des apports captés, et les conditions topographiques constituant la cuvette de la retenue à l'amont de la digue. Certaines successions de digues construites en 1985 ont des résultats meilleurs (toutes choses égales par ailleurs, ce qui n'est pas forcément vérifié) que d'autres situées sur un autre bassin et construites en 1981.

- et, bien sûr, mais ceci n'est pas spécifique aux digues, le mode de faire-valoir, la qualité des opérations culturales (la nécessité de leur adaptation aux conditions de l'aménagement ayant déjà été soulignée), etc ...

3ème PARTIE :

ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES :

INTERETS ET MOTIVATIONS DES VILLAGEOIS

par : - Christian LUND (Université de Roskilde -Danemark)
- Thorkil ØRUM (CIEH)

3.1. INTRODUCTION

3.1.1. Objectif de l'étude:

Cette 3ème partie de l'étude est le résultat d'un stage effectué au CIEH (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques) du 15 septembre au 15 décembre 1986.

L'objet du stage était l'"étude socio-économique" des projets de digues filtrantes et le contenu de l'étude était à définir avec l'AFVP au début du stage. Le premier projet de programme à étudier, préparé par l'AFVP, était très vaste et comportait plusieurs volets dépassant le cadre de nos compétences socio-économiques; ces volets ne pouvaient donc être traités que de façon très superficielle. Il s'agissait en particulier de questions agronomiques et écologiques. (les deux premières parties du chapitre 2)

Les discussions à la réunion annuelle "hydraulique" de l'AFVP le 17/9/1986 ont abouti à une description de l'étude comme "une évaluation des forces et faiblesses des projets de digues filtrantes sur le plan socio-économique" qui pourrait être utilisée pour la préparation de l'extension des projets Bourzanga et Titao. Le contenu de l'étude a donc été précisé avec les volontaires de Bourzanga (Laurent PLOTTET) et de Titao (Guillaume RICHEZ) selon leurs besoins.

Les points suivants ont été formulés :

1. Quels sont les problèmes généraux du projet digues filtrantes au niveau de l'exécution et des effets du projet sur le village ?

Les deux premières parties du présent rapport sur les digues filtrantes décrivent la technique de ces digues et les améliorations qu'elles apportent. Dans cette 3ème partie, nous nous sommes concentrés sur les points faibles du projet (autres que techniques), en essayant de déceler et de décrire les problèmes rencontrés sur les projets de digues filtrantes.

Pendant le travail, le besoin de discuter la façon dont on pourrait susciter l'intérêt du village tout entier sur le projet est devenu de plus en plus évident. Ce volet d'étude n'a donc été défini qu'assez tard; il n'a été discuté qu'avec Guillaume RICHEZ et les villages autour de Titao ont servi de référence à ce sujet.

2. Il s'est avéré important qu'un questionnaire général à présenter avant que le projet ne démarre dans un village soit élaboré pour qu'on puisse prévoir les problèmes qu'il risque de rencontrer et les avantages qu'il est susceptible d'apporter au village, afin de l'adapter aux conditions spécifiques de celui-ci.

3.1.2. méthode de travail:

La méthode de travail utilisée pour l'étude a été l'exécution d'enquêtes dans des villages sélectionnés autour de Bourzanga et Titao où l'AFVP était déjà intervenue pour faire des digues filtrantes.

La première phase de sélection des villages et de préparation de l'enquête a été effectuée sur les postes de Kongoussi, Bourzanga et Titao. Après l'élaboration du premier questionnaire, un test a été réalisé à Rissiam et Sankondé près de Kongoussi. Il est apparu clairement qu'il y aurait avantage à enquêter dans chaque village au moins deux fois. Sept villages ont été visités avec un questionnaire de 110-120 questions groupées en deux parties: l'une concernant le village proprement dit (démographie, ethnies, activités économiques, etc.) et l'autre concernant le projet (travaux pour le ramassage des cailloux et la construction, gestion des caisses, entretien, etc).

Les premiers entretiens avec les villageois ont pris en général la forme de discussions avec un groupe d'hommes (15-20) dont un noyau de 3 à 5 constitué par : soit les responsables des travaux, soit les présidents de groupements villageois/Naam, délégués CDR etc. Il s'agit donc de personnalités qui, en général, d'un côté veulent montrer que le travail a bien marché et de l'autre ont un rôle à jouer pour la venue de l'aide au village.

Les entretiens ultérieurs se déroulaient en général de la manière suivante : une courte discussion et une visite aux champs pendant laquelle ont été posées beaucoup de questions reformulées pour contrôler et vérifier les réponses de l'entretien précédent. Il faut ajouter qu'il n'a pas été possible de connaître le point de vue des femmes: le fait que l'enquêteur soit un homme (blanc) rend une telle approche très difficile. A l'avenir, la participation d'une femme à ce type d'étude serait souhaitable pour étudier la réaction des femmes du village sur ce type de projet.

Après chaque "session", les villageois avaient toute latitude pour poser des questions de manière très libre. Les thèmes abordés par les villageois avaient souvent déjà été discutés pendant la première partie de l'entretien et cette forme de débat a souvent permis d'obtenir de meilleurs résultats (surtout quand il s'agissait de questions relatives à la religion (le carême pendant le Ramadan par exemple) ou les questions délicates de l'entretien et de la motivation). Le fait de parler sans prendre note mettait les villageois plus à l'aise. De plus leurs questions étaient souvent plus amusantes que celles posées par l'enquêteur.

Les villages concernés par l'étude sont :

Rissiam (Kongoussi): enquête pilote le 6 Octobre

Sankondé (Kongoussi): enquête pilote le 7 Octobre
Doundegué (Bourzanga): enquête les 10 et 12 Octobre
Manavale (Bourzanga): enquête les 13 et 14 Octobre
Pogonaoma (Bourzanga): enquête les 18 et 20 Octobre
Hiwotenga (ou Illivouatinga) (Titao): enquête les
15 et 16 Novembre
Golonga (Titao): enquête les 18 et 20 Novembre
Rimassa (Titao): enquête les 22 et 24 Novembre
Solobo (Titao): enquête les 28 et 29 Novembre.

3.2. INTERETS SOCIO-ECONOMIQUES

3.2.1. Effet des digues filtrantes sur la nappe phréatique de faible profondeur:

Un des effets éventuels des digues filtrantes serait la réalimentation de la nappe phréatique donc des puits.

Sur les villages visités une telle évaluation ne pouvait être que très limitée puisque la plupart des digues construites non loin de puits n'ont pas encore connu de saison sèche; dans le cas de digues suffisamment anciennes, il n'existe pas de puits près de la digue.

A Pogonacma les villageois ont construit une digue en 1980 qui a été rehaussée et rallongée avec l'assistance de l'AFVP en 1984. En 1985 on a construit encore deux digues en amont de la première.

Il y a deux puits près des digues. L'un se trouve en aval de la première digue, a 6 ans d'âge et est busé, l'autre se trouve en amont de la deuxième digue, a 11 ans et est également busé. Les deux puits ont été réalimentés après la construction des digues: le niveau de l'eau y est monté de plusieurs mètres.

A Manouale, il y a un puits en aval de la digue qui est réalimenté. La digue a été construite en 1986, le puits n'a donc pas encore passé une saison sèche avec le "bénéfice" de la digue mais, selon les femmes qui l'utilisent, le niveau de l'eau est plus élevé que pendant la même période (fin octobre) les années passées. Pour une étude des puits très riche en renseignements on se reportera à l'étude faite par Elisabeth ROBERT et Laurent PLOTTET à Bourzanga.

A Rimassa, les arbres étaient en train de mourir dans le bas-fond: sur le champ de Arouna KIRAKOYA, les manguiers et les karités perdaient leurs feuilles pendant la saison sèche et donnaient péniblement quelques fruits. Deux ans après la construction de la digue sur son champ les arbres ont repris et ne perdent plus leurs feuilles.

Il faut tenir compte du fait que 1984 a été une année de sécheresse très prononcée. Ces exemples indiquent néanmoins que les conditions d'humidité du sol jusqu'à une certaine profondeur, au moins localement, bénéficient de la digue de façon prolongée dans le temps. Mais cet aspect de la digue filtrante doit être étudié beaucoup plus systématiquement.

3.2.2. Effet agricole et écologique des digues filtrantes:

L'effet agricole des digues est difficile à quantifier actuellement parce qu'il n'existe que peu de données disponibles. Quelques mesures de rendement ont été effectuées dans le cadre du programme d'études et d'expérimentation mené conjointement par le CIEH et l'AFVP, et leurs résultats ont été exposés dans la deuxième partie du présent rapport d'avancement. On se limitera donc à décrire ici les indices qui indiquent que l'état physique du fond du thalweg et le potentiel agricole s'améliorent incontestablement avec l'aménagement du bas-fond par une ou des digues filtrantes.

L'effet de la digue filtrante est plus frappant sur les terrains où rien ne poussait avant la construction:

A Manouale, le terrain en amont était complètement nu avant la construction de la digue. Les herbes ne poussaient plus, le sol était très érodé, laissant apparaître des zones de cuirasse latéritique. La première année après la construction de la digue, la latérite a été recouverte par une sédimentation considérable de sable et d'argile et les paysans ont pu cultiver mil et sorgho. La récolte n'a cependant pas été très bonne : à cause du manque de pluie, les semis ont eu lieu au mois d'août, il y a eu ensuite un grave problème de sautériaux et le sol n'est pas encore régénéré.

A Golonga, la situation était identique: dans ce site il y a une différence d'environ 15 à 20 cm de hauteur de sol entre l'aval et l'amont de la digue en son milieu, mais les villageois n'ont pas semé cette première année.

Pour les champs déjà cultivés, il est également difficile de quantifier l'impact de la digue sur la récolte: il n'existe que rarement des données et pour la plupart des cas on est obligé de baser l'analyse sur la mémoire des paysans.

A Rimassa, la première digue a été construite en 1984 et les propriétaires des champs en amont ont cultivé deux ans sous l'influence de la digue. Le propriétaire situé directement en amont, Arouna KIRAKOYA, a cultivé son champ pendant plus de 20 ans et n'a jamais récolté plus de 3 charrettes de petit mil ou sorgho. A partir des années 70, le rendement s'est mis à baisser à cause d'une mauvaise pluviométrie et de la dégradation et érosion du sol dans le bas-fond. La première année après la construction de la digue (1985) il a récolté 3 charrettes ; cette année (1986), il prétend en avoir récolté 6.

CAMPAGNE	VERS 1965	1983	1984	1985	1986
récolte de mil ou sorgho en charrettes (1)	3	1	1	3	6
pluviométrie (2)	650 mm	415 mm	271 mm	390 mm	320 mm
nbe de jours de pluie (2)	?	32	30	31	39

(1): 1 charrette = environ 175 kg

(2): sources: préfecture et mission de Titao

Il faut tenir compte du fait qu'en 1986 la fin de la saison a été pluvieuse par rapport aux années passées. Néanmoins il semble clair que le sol est en train de se régénérer et qu'on récolte considérablement plus 2 ans déjà après la construction. Ces données de Rimassa doivent être considérées avec précaution compte tenu du fait qu'il s'agit de chiffres cités de mémoire par le propriétaire.

A Hiwotenga, le propriétaire du champ directement en amont de la digue a fait un essai de culture de riz au lieu du petit mil et du sorgho sur une partie de son champ et le résultat s'est avéré satisfaisant. Cela tend à montrer que l'humidité du sol s'est considérablement améliorée.

Les cas de Rimassa et Hiwotenga sont peut être spécifiques, mais sur tous les projets on constate un dépôt d'alluvions et de matières organiques, et une augmentation sensible de l'humidité du sol après la construction de la digue.

Ces effets sont des effets attendus par l'AFVP et les villageois en général, mais ils dépassent parfois la prévision des villageois:

A Solobo, les conditions d'humidité et de drainage à l'amont de la digue filtrante ont été telles que le mil et le sorgho ont été inondés et axphyxiés. Les mils ne sont plus adaptés à ces nouvelles conditions, mais les villageois n'y étaient pas préparés. Il y a une dizaine de champs en amont de la digue qui n'ont quasiment rien donné cette année (ce sont normalement des champs de plus grande potentialité moyenne).

Le cas de Solobo est un exemple flagrant de mauvaise adaptation des cultures aux conditions qui sont en train de changer. Les conditions de sol en amont de la digue ne sont pas les mêmes partout, des variations de profondeur et de granulométrie doivent pouvoir être observées en fonction de la distance à la digue. Les propriétaires tout près de la digue n'ont rien récolté à cause de l'excès d'eau, mais à 300 ou 400 m de la digue les récoltes ont été bonnes. Par ailleurs les sols évoluent dans le temps et doivent donc être progressivement valorisés.

Dans beaucoup de cas, les conditions ne changent pas aussi rapidement qu'à Solobo et les paysans arrivent, au fur et à mesure, à trouver des espèces adaptées aux nouvelles conditions. Typiquement, la culture passe du petit mil au sorgho puis, comme on l'a vu à Hiwotenga, le stade suivant peut être la riziculture.

Pour aider ce processus on pourrait imaginer un "guide des cultures" basé sur une étude agronomique des zones en amont des digues. Une telle étude devrait analyser les variations des conditions du sol par rapport à la distance à la digue et le temps passé après la construction. Ensuite, elle pourrait indiquer les cultures et les façons culturales les plus adaptées à ces différents types de conditions.

Un tel guide ne peut pas prévoir toutes les conditions de culture pour chaque digue, mais pourrait aider les paysans dans l'évolution de la production et le volontaire et les animateurs pour l'animation autour des nouvelles cultures.

Pour mieux suivre l'évolution des rendements après la construction de la digue il sera nécessaire d'enregistrer les résultats des champs concernés chaque année. Le volontaire à Titao a commencé ce travail dans des villages sélectionnés en notant les résultats des champs/parcelles influencés par la digue. L'enregistrement systématique des rendements pour tous les villages et toutes les digues serait un gros travail et il faut donc sélectionner des villages. Pour cela, on pourrait profiter du fait qu'il existe des villages qui font déjà cet enregistrement eux-mêmes. Il s'agit surtout des villages où résident des marabouts qui effectuent une alphabétisation en arabe.

3.2.3. Rentabilité des digues filtrantes: un exemple.

3.2.3.1. Les hypothèses de base :

L'estimation de la rentabilité d'une digue filtrante suppose la connaissance de beaucoup de facteurs qui sont très difficiles à chiffrer. Les estimations suivantes sont donc très approximatives.

On peut exprimer le concept de la rentabilité d'une digue filtrante de la manière suivante: si la valeur ajoutée par l'impact de la digue dépasse la valeur des intrants employés (camion, force de travail etc.) au bout d'une certaine période on considère que la digue est rentable. On ne parlera donc pas d'un remboursement monétaire du coût de la digue (sous forme d'une caisse d'amortissement par exemple).

Les fluctuations du prix du mil ou sorgho peuvent déterminer si les digues sont rentables selon notre hypothèse de calcul. Nous avons choisi un prix de 5500 francs pour 100 kg de mil ou

sorgho pour les exemples qui suivent: c'est le prix actuel de l'OFNACER (Titao) et c'est un prix assez bas (pendant la soudure cette année le prix était d'environ 9000 CFA/100 kg, on se place donc dans des conditions relativement défavorables).

3.2.3.2. Le coût d'une digue:

Calculons d'abord le coût d'une digue. Nous allons faire 3 calculs indicatifs : deux pour le coût actuel selon les caractéristiques du projet, puis un pour le coût marginal (calcul théorique du coût minimal d'une digue).

3.2.3.2.1. Le coût de l'investissement humain:

La valeur de l'investissement humain (la force de travail employée par les villageois) devrait être évaluée en fonction de son coût d'opportunité, soit la rémunération maximale à laquelle les villageois pourraient prétendre en faisant "autre chose" que le travail en question, autrement dit la valeur d'une journée de travail pour la collectivité considérée. Cette valeur est difficile à déterminer : certains groupements ont des systèmes d'amendes infligées à ceux qui se dérobent au travail collectif. Leur montant varie de 200 à 500 CFA par jour, ce qui revient à dire que les villageois estiment la valeur d'un jour de travail à ce montant. Nous allons employer une valeur de 400 CFA par journée de travail parce que cette somme est employée par l'AFVP dans ses calculs d'investissement humain et parce qu'elle se trouve dans la fourchette d'estimation des paysans. Mais il faudra toujours garder à l'esprit le fait qu'il s'agit d'un prix fictif et que le fait d'utiliser la notion de l'investissement humain fait entrer en ligne de compte des facteurs extérieurs à la construction de la digue et à la production agricole. Par exemple, si on trouve facilement de l'or dans la région, le prix d'une journée de travail augmente et il sera plus difficile de rentabiliser la digue avec la même production agricole.

3.2.3.2.2. Le coût du projet :

Considérons une digue filtrante de dimensions moyennes permettant de restaurer une superficie de 0.5 à 1.5 ha en amont, selon les sites .

- Le volume de pierres nécessaire s'élève à environ 100 m³.

- Le transport des pierres s'effectue sur 2 jours , à raison de 40000 FCFA/j pour ce qui concerne le coût du camion , soit 80000 FCFA .

- Un m³ de pierres mis en place nécessite en moyenne 5 journées-homme (ramassage + disposition) , soit 500 journées-homme pour l'ensemble de la digue . Le coût de la main d'oeuvre étant évalué à 400 FCFA / journée-homme , le coût total de la main d'oeuvre pour l'ouvrage sera de 200000 FCFA .

Soit un coût total de la digue de 280000 FCFA

On ne fera pas intervenir le coût du volontaire et de sa structure , celui-ci étant pris en charge par la structure elle-même . Dans le cas contraire , le calcul conduirait à considérer le coût du volontaire , de sa structure ainsi que le budget du projet relatif à la réalisation des ouvrages; il faudrait le pondérer par secteur et volume d'activité au prorata , par exemple , du temps d'encadrement mobilisé par chaque réalisation. On s'est volontairement placé dans le cas recherché où la formation assurée aux villageois pendant la réalisation des travaux doit permettre d'envisager la reproductibilité de ces opérations , sans encadrement expatrié , donc à moindre coût théorique .

Prenons la valeur moyenne des rendements de mil sur les provinces du BAM et du YATENGA , de l'ordre de 550kg/ha . Des observations sur les aménagements permettent d'envisager le doublement de la production , soit 1100 kg/ha , d'où un bénéfice par an , par rapport à une situation sans aménagement , de 30250 FCFA , en considérant la valeur du mil au plus bas prix d'une saison (55 F/kg) . Le recouvrement de l'investissement se ferait alors sur les dix ans .

Ces calculs ont été effectués dans des conditions pessimistes . Il est à noter que :

- Le sol se régénère d'année en année , ce qui permet de penser que le rendement augmentera davantage .

- On a pris en compte le prix du mil le moins élevé . Celui-ci pouvant atteindre 9000 FCFA/sac de 100 kg , le calcul peut être refait de façon plus optimiste avec un prix moyen de 70 FCFA/kg .

- On néglige le fait que d'autres produits peuvent être cultivés parallèlement au mil sur le même champ .

- Enfin , on ne peut quantifier en matière de revenus ,

- .la reconstitution des sols , des bas-fonds

- .la limitation de l'érosion

- .la reconstitution du couvert végétal

- .l'influence sur la nappe phréatique proche

Ces avantages non chiffrés sont à prendre en compte et doivent peser dans le choix de l'aménagement , même si celui-ci ne permet pas de dégager une valeur marchande immédiate .

3.2.3.2.3. Un exemple : RIMASSA

- Digue filtrante

- 2.5 jours de ramassage et 1.5 jours de transport soit :

- .187 jours-homme

- .2 jours de location

- (9 voyages de 4 m3 soit 36 m3)

- Coût : .187 * 400 FCFA/j = 74800 FCFA

- .2 * 40000 FCFA/j = 80000 FCFA

soit 154800 FCFA

- Production (pour 1 ha)
 - .175 kg en 1983 et 1984 , sans aménagement , années de faible pluviométrie
 - .525 kg en 1985 , 1er hivernage avec digue filtrante
 - .1050 kg en 1986 , 2ème hivernage avec digue filtrante, pluies bien réparties sans être abondantes .
- Prix du mil au moment de la vente : 55 FCFA/kg
- Bénéfices dégagés :
 - .en 1985 : $350 \text{ kg} * 55 \text{ FCFA/kg} = 19250 \text{ FCFA}$
 - .en 1986 : $875 \text{ kg} * 55 \text{ FCFA/kg} = 48125 \text{ FCFA}$
- Si on suppose que la production moyenne se stabilise autour de celle de 1986 , le recouvrement de l'investissement nécessaire à l'aménagement se fera en 4 ans .

3.2.3.3. Conclusions :

Pour évaluer la rentabilité des digues, il est nécessaire de connaître l'évolution des rendements pour l'ensemble des parcelles concernées. Comme déjà dit en 2.2. il n'existe que très peu de données sur ce rendement et celles qui existent sont très approximatives.

Plusieurs autres facteurs qui tendent à améliorer la rentabilité seraient à prendre en compte. Premièrement, on a basé les calculs sur le seul rendement de mil/sorgho, alors que Arouna KARAKOYA cultive (comme la plupart des paysans) plusieurs autres cultures derrière la digue (haricots, oseille). Deuxièmement, on n'a pris en compte que la récolte de son champ alors que les propriétaires des champs plus en amont ont aussi bénéficié (peut-être dans une moindre mesure) de la digue. Troisièmement il semble probable que l'on n'a pas encore atteint le maximum de rendement puisque le sol se régénère progressivement. Quatrièmement il est arrivé à produire un supplément de 875 kg malgré les problèmes de sautériaux qui se sont posés en 1986.

Tirer des conclusions fermes sur ces seules observations serait sans doute déraisonnable. Pour l'instant, en phase de démarrage, il est difficile de dire si ces digues sont ou non rentables selon notre calcul. Le cas de Rimassa est peut être un cas particulièrement réussi, et pour pouvoir conclure il faut commencer à rassembler des données sur la récolte de l'ensemble des champs sous l'influence des digues filtrantes.

Il semble néanmoins qu'un projet de digues filtrantes à plus grande échelle dans la région de Kongoussi puisse garantir la réalisation de digues rentables (selon notre calcul).

L'extension de ce type de projet dans d'autres régions du Burkina devra néanmoins tenir compte du fait que le projet de la région de KONGOUSSI bénéficie a priori de conditions géomorphologiques et topographiques favorables qui ne se retrouveront peut être pas ailleurs (région de collines birrimiennes donnant des matériaux de dégradation riches, érosion, accumulation des dépôts et drainage favorisés par la pente...).

3.3. LES PROBLEMES RENCONTRES

3.3.1. l'entretien des ouvrages:

Tous les villages enquêtés ont connu des dégâts plus ou moins graves sur leurs digues, nécessitant des réparations. La réparation d'une digue filtrante ne pose que peu de problèmes sur le plan technique, mais plutôt au niveau de la motivation et de l'organisation. Les villages ont eu, vis à vis de ce problème d'entretien, des réactions très différentes (certains l'ont bien pris en compte, d'autres n'ont absolument rien fait).

Parmi les villages visités, Manoualé était le seul qui se soit bien préparé pour l'entretien de sa digue: à côté de la digue a été entreposé un stock de cailloux pour les réparations éventuelles.

Trois autres villages, comme Manouale, ont organisé la réparation comme un travail collectif. Il s'agit des villages de Solobo, Doundegué et Pogonaoma. Apparemment, la situation semble identique pour ces trois villages, cependant les conditions de l'entretien varient quelque peu:

A Pogonaoma les villageois avaient construit la première digue en 1980 de leur propre initiative, et le catéchiste qui était le moteur de cette opération a une bonne compréhension de l'importance de l'entretien. Les villageois qui ont construit la digue sans l'aide de l'AFVP ont, eux aussi, été sensibilisés du fait que l'entretien est de leur propre responsabilité. Après la première cassure et la réparation qui a suivi, ils sont encore allés chercher des cailloux pour faire un stock à côté des digues.

A Doundegue, la cassure s'est située au niveau du champ du président du groupement. Ce dernier a donc mobilisé le groupement pour venir réparer la digue, et les villageois reconnaissent qu'il serait plus difficile pour une personnalité moins importante de mobiliser le groupement si vite pour la réparation (ce qui a été le cas, présenté plus loin, pour le village de Golonga).

A Solobo, tout le groupement villageois semble avoir une certaine compréhension de l'importance de l'entretien. Le groupement compte 20 personnes qui ont toutes suivi une formation pour manipuler le niveau à eau et sont donc sensibilisées pour la lutte antiérosive et l'entretien des ouvrages. En cas de cassure, le groupement se réunit le lendemain pour organiser le ramassage des cailloux.

Ces quatre villages ont pu s'organiser d'une façon ou d'une autre, mais d'autres se débrouillent moins bien pour l'organisation de l'entretien. A Golonga, les villageois n'ont

rien fait pour réparer la digue. Le propriétaire du champ en amont de la cassure a fait appel aux propriétaires des champs voisins pour la réparation. Ces derniers n'ont pas directement refusé mais ils ne sont pas venus réparer, et le propriétaire du champ endommagé a finalement abandonné lui aussi. La faible motivation des paysans est probablement due au fait qu'ils n'ont pas pu cultiver cette première année et n'ont donc pas "une récolte à perdre".

A Rissiam, la réaction des villageois aux cassures qui se sont produites a été la même: ils n'ont rien organisé de leur propre initiative, mais ont passivement attendu que le volontaire passe pour organiser les réparations.

A Hiwotenga, la cassure était aggravée par des racines d'un arbre proche et la remise en place des pierres tombées n'a pas suffi : la pluie suivante a encore endommagé la digue, et le propriétaire et l'agro-formateur de Hiwotenga n'ont pas persévéré dans leurs efforts.

Pour finir, citons le cas de Rimassa où l'on a pu observer deux comportements différents:

La première digue n'était pas assez longue et l'eau a déversé; le propriétaire, Arouna KIRAKOYA, a ramassé des pierres avec sa famille pour rallonger la digue, sans faire appel au groupement villageois. Depuis, il conserve un stock de cailloux à côté de la digue pour les cassures éventuelles.

On pourrait sans doute trouver des exemples semblables où les petites cassures sont réparées par un propriétaire seul. Cependant, les réparations dont il est question ici sont des réparations qui demandent en général le travail de plusieurs personnes.

La deuxième digue de Rimassa a aussi été cassée (le travail de construction n'avait pas été terminé), et deux propriétaires des champs en amont, Saïdou et Moussah KIRAKOYA, ont essayé de la réparer mais n'y sont pas parvenus (il s'agissait en fait d'un travail de construction et non d'un travail de réparation).

Les autres villageois n'ont pas aidé les propriétaires et cela pour deux raisons, semble-t-il: d'une part, le groupement responsable des travaux et les gens qui ont été mobilisés pour la construction n'ont pas profité de la digue. D'autre part, les villageois ont été découragés par le fait que l'un des propriétaires d'un grand champ en amont de la digue était en Côte d'Ivoire pendant le chantier et n'a donc ni participé au travail, ni fourni des repas aux villageois mobilisés pour la construction.

Des expériences présentées ci-dessus on peut tirer les conclusions suivantes : premièrement, les villages ne sont pas prêts à faire des réparations. Ils ne s'attendent pas à ce que leurs constructions puissent se casser: seuls les villageois de Manouale ont pensé à cette possibilité et ont réagi en préparant un stock de cailloux à côté de la digue. En général les discussions avec les villageois ont montré que le thème de

l'entretien n'a fait l'objet que de peu d'animation pendant la construction des ouvrages. Ceci semble être une lacune qu'il convient de combler, au risque de perdre tout le bénéfice qui peut être escompté des digues filtrantes.

Deuxièmement, quand des dégâts surviennent, certains villages les réparent, mais l'organisation de la réparation est différente d'un village à un autre. Parfois ce sont les propriétaires qui interviennent, parfois le groupement, mais la responsabilité de l'entretien ne semble pas avoir été bien définie à l'avance.

L'organisation et la responsabilisation peuvent prendre plusieurs formes : on pourrait par exemple fixer que c'est aux propriétaires en amont de renouveler le stock de cailloux, et au groupement villageois de mettre les pierres en place. Pour le ramassage, les délais peuvent être relativement larges mais la mise en place des cailloux doit se faire le lendemain de la cassure et avant la prochaine pluie. La responsabilité de la mise en place devrait donc être attribuée à un personnage ayant l'autorité nécessaire, formé sur le plan technique et conscient de sa responsabilité.

3.3.2. Le problème des cotisations:

Pour la construction d'une digue les villages louent du petit matériel (brouettes, barres à mine, masses, dames etc.) de l'AFVP et cotisent pour l'utilisation d'un camion pour le transport de pierres des collines jusqu'au chantier. Le montant des locations et cotisations varie un peu de projet à projet, mais, en général, il s'agit de 2 à 300 FCFA par an et par outil pour le petit matériel et 2500 à 3000 FCFA par jour de camion. On forme un groupe responsable du petit matériel et de la collecte des cotisations: c'est le groupement de travaux. L'achat du matériel est pris en charge par le projet. Les cotisations permettent d'alimenter une caisse confiée à un comité de gestion créé sur la base des villages concernés. Cette caisse sert à l'entretien et au renouvellement du matériel.

Ce sont les villages eux mêmes qui organisent le paiement des cotisations et leur montant varie beaucoup selon les villages. Cependant on peut diviser les cas possibles en deux groupes. Pour le premier, les cotisations sont levées individuellement parmi les villageois ; pour le second, les cotisations sont levées parmi les groupements du village donc à partir de caisses déjà existantes. A l'intérieur de chaque groupe, il y a également des variations.

3.3.2.1. La collecte individuelle des cotisations:

A Pogonaoma aucune caisse n'a été créée pour la construction de la première digue, puisqu'elle a été réalisée sans location de matériel. Pour la construction des deux digues suivantes les villageois ont loué du matériel et cotisé pour la location d'un camion, et le groupement de travaux a collecté 500

FCFA pour chaque homme et 100 FCFA pour chaque femme du village. C'est le groupement villageois (composé d'hommes uniquement) qui a décidé que les femmes paieraient et a fixé la valeur des cotisations à 100 et 500 francs. Au moment du paiement des cotisations à l'AFVP, le groupement de travaux s'est aperçu que la somme récoltée ne suffisait pas et on a collecté le reste un peu au hasard dans le village.

A Manouale, le groupement de travaux a fait un calcul indicatif et ensuite collecté la même somme auprès de tous les hommes du village. La collecte a eu lieu en une seule fois et a suffi au financement de la digue.

A Hiwotenga, le groupement villageois a décidé que chaque chef de concession paierait 500 francs et que ce serait à lui de collecter l'argent dans sa concession. Cependant, la somme récoltée n'a pas suffi et le groupement villageois a décidé de lever encore 500 francs par concession. Finalement, par crainte qu'il manque toujours de l'argent on a collecté encore 200 francs par concession. Cette dernière somme ne s'est pas révélée nécessaire.

3.2.2. Le prélèvement sur les fonds des groupements villageois:

A Golonga, la caisse du groupement villageois est alimentée par la rémunération des travaux collectifs payée par le bénéficiaire: un villageois peut faire appel au groupement pour un travail (souvent la récolte ou la fabrication de briques en banco) et la totalité de l'argent récolté va dans la caisse du groupement. Dans ce village, l'argent ainsi disponible a permis de financer la digue.

A Rimassa, les deux principaux groupements: le groupement Naam et le groupement villageois ont payé chacun la moitié de la somme globale, comme il est de coutume quand il y a des dépenses collectives à financer.

A Doundegue également, le groupement villageois a contribué à la location du camion. Cependant, cette contribution s'est avérée insuffisante, et, après la construction de la digue, il a fallu prélever des cotisations supplémentaires (selon une répartition mal définie, selon le président de groupement villageois).

Citons pour finir le cas de Solobo où cinq groupements ont cotisé 2000 FCFA chacun. Le groupement villageois, essentiellement responsable des travaux, compte 20 hommes qui cultivent un champ collectif aménagé avec des diguettes antiérosives et alimente sa caisse par le mil récolté. Viennent ensuite trois groupements Naam de quartiers qui fonctionnent avec des cotisations mensuelles de leurs membres de 25 FCFA. Le cinquième groupement concerné, le groupement Naam-maraicher, qui fonctionne avec les cotisations de ses membres, a aussi cotisé pour 2000 FCFA. Cependant, la totalité de l'argent

récolté par les groupements n'a pas suffi, et le groupement de travaux a dû solliciter les villageois individuellement pour arriver à la somme nécessaire.

3.3.2.3. - Conclusions :

Les diverses façons de prélever les cotisations dans les villages rendent hasardeux le fait de tirer des conclusions générales. Cependant, et c'est un phénomène que l'on retrouve assez souvent, il semble qu'un certain nombre de villages a des problèmes pour collecter la somme nécessaire pour le projet de digue. Cette somme étant relativement symbolique, il ne semble pas que soit mise en cause la capacité financière des villages, mais plutôt la capacité du groupement de travaux: soit à évaluer la somme nécessaire, soit à prélever les cotisations auprès des villageois ou groupements.

Il serait donc utile que les villageois aient une idée précise de la somme globale nécessaire avant de démarrer les travaux: le volontaire/animateur doit, avec le groupement de travaux, faire une estimation de la somme à réunir et pourrait soumettre le début des travaux dès l'obtention de cette somme.

En ce qui concerne la gestion des caisses, il n'a été possible de recueillir que très peu d'informations, l'unique exemple qui suit n'est donc peut-être pas représentatif:

A Hiwotenga, il a fallu procéder à deux collectes supplémentaires, mais la dernière n'a pas été dépensée et restait donc disponible. La caisse est gérée par une seule personne qui a dépensé la moitié de l'argent disponible (500 FCFA) pour ses propres besoins sans consulter ni informer les autres villageois. Même si l'exemple est unique, il montre l'importance du contrôle par la collectivité de la gestion des ressources communes afin d'éviter de décourager les villageois pour le paiement des cotisations.

Le problème des cotisations a été évoqué lors de la réunion "hydraulique" à l'AFVP le 1er octobre. Le principe et la possibilité de leur augmentation ont été discutés et il semble intéressant d'en dire ici quelques mots:

La somme pour laquelle cotisent les villages est symbolique, et la cotisation a plusieurs fonctions: elle responsabilise les villageois, qui viennent travailler quand ils ont payé le camion afin de "rentabiliser" le plus possible leur "investissement"; elle joue sans doute également un rôle dans la motivation ultérieure pour l'entretien. Enfin, la cotisation matérialise la capacité du village à se mobiliser et confère peut-être aux villageois une certaine considération pour eux-mêmes.

On peut augmenter les cotisations: soit pour rendre le village indépendant de l'aide financière du projet, soit pour permettre l'extension du projet. Si on augmente la cotisation pour augmenter l'autonomie des villageois il faut la monter au delà du seuil de symbolisme (29 000 FCFA = 1 journée de camion). Si l'augmentation est faible, la cotisation reste symbolique et on n'a rien changé. En doublant le prix chaque année (2.500, 5000, 10.000, 20.000, 40.000 FCFA), il faut cinq ans pour que le village prenne en charge tous les frais.

Une telle augmentation poserait certainement des problèmes de mobilisation et d'intérêt des villageois pour les digues. La capacité des villageois à participer financièrement et de façon substantielle est difficile à mesurer, et n'a pu être déterminée. Mais il faut tenir compte du fait que ce sont les personnes dynamiques/importantes du village qui, en général, sont les premières à valoriser leurs champs par la digue (voir plus loin). Leurs besoins sont donc satisfaits avec les premières réalisations, et on peut craindre que leur intérêt pour construire de nouvelles digues (à un prix en augmentation) ne baisse. Pour les paysans qui ne bénéficient toujours pas de l'aménagement de leurs champs il pourrait être très difficile: d'abord d'organiser le travail, et ensuite de payer les cotisations, sans participation des personnalités importantes du village qui ont "du poids" dans les groupements.

A cet égard, on peut penser que les moyens des villageois seraient mieux utilisés, vis à vis du projet, s'ils servaient à acheter du petit matériel (et en particulier un niveau à eau) ainsi qu'à permettre la réparation des digues endommagées.

L'engagement du village dans le projet pourrait donc se traduire par l'achat d'un peu de petit matériel pour faire les digues et les diguettes au moyen du système des cotisations. En mettant les choses au mieux, ces achats pourraient servir à assurer la permanence des travaux de conservation des eaux et des sols au village, à condition que l'entretien des outils soit assuré.

3.3.3. Concurrence avec les autres activités

La construction d'une digue filtrante demande un travail physique considérable et une bonne organisation du travail collectif. On peut se poser des questions sur la concurrence qu'oppose la construction d'une digue aux autres activités villageoises pendant la saison sèche.

Au début de l'étude, c'était la concurrence avec la confection des diguettes qui semblait devoir être le premier problème, mais au cours de l'enquête il est devenu de plus en plus évident que la concurrence des diguettes n'est qu'un type de concurrence parmi d'autres et pas forcément le plus sérieux.

La découverte de l'or dans les régions du nord Burkina a une influence décisive sur les activités pendant la saison sèche. Dans tous les villages, de nombreux villageois vont chercher de l'or. Il s'agit souvent de la totalité des hommes du village, et parfois de tous les hommes et d'une bonne partie des femmes. L'attraction de l'or est si puissante que même des activités déjà pratiquées au grand bénéfice des villageois souffrent. A Rimassa et Golonga, ce sont jusqu'aux propriétaires de jardins maraichers qui vont à la recherche de l'or en abandonnant une source assurée de revenus.

Cette "ruée vers l'or" est très peu organisée: les gens s'en vont individuellement pour une période non définie à l'avance. Les séjours aux chantiers durent de 3 jours à 1 mois.

Pour la construction d'une digue comme pour tout travail collectif du village, l'existence de l'or pose beaucoup de problèmes. Le volontaire et ses animateurs ne peuvent pas freiner cette tendance, donc si l'on veut construire des digues il est nécessaire de programmer les chantiers en fonction de cette donnée.

Un type d'organisation peut être d'alterner la recherche de l'or et le ramassage des cailloux. Le système de roulement avec deux groupes où l'un cherche des cailloux pendant que l'autre cherche de l'or pendant une semaine à tour de rôle n'est pas populaire: les gens qui restent n'ont que peu confiance dans le retour de ceux qui sont partis. De plus ils craignent que les grandes découvertes ne se fassent pendant leur propre absence.

La méthode des villageois de Solobo (et beaucoup de villages au Yatenga) serait peut être une solution: les villageois de Solobo vont au chantier avec de grands sacs qu'il remplissent pour ensuite revenir et chercher l'or chez eux dans les cours. Cette organisation de la "chasse à l'or" permettrait une coordination plus facile avec la construction des digues.

Une autre activité profitable pour les villageois qui peut poser des problèmes est le maraichage. Ce problème ne se pose que près des barrages où les conditions sont favorables. Les propriétaires des jardins (ceux qui ne sont pas au chantier d'or) ont soulevé en général le problème de l'arrosage des jardins qui coïncide avec le travail du ramassage des cailloux. Il semble que la solution la plus simple serait d'organiser un roulement parmi les propriétaires des jardins maraichers.

Ensuite, il y a les autres "projets" ou travaux collectifs du village. Certains villageois font des écoles, creusent des boullis etc., et, dans certains cas, l'un des projets du village peut souffrir des autres activités collectives. A Golonga par exemple, le creusage des boullis est venu concurrencer le travail à la digue. Cependant, normalement, les travaux collectifs sont coordonnés et posent peu de problèmes.

Avant d'aborder le problème de la construction des diguettes, il faut brièvement citer une autre activité "concurrente". Dans les villages au nord du Burkina, la religion musulmane est fortement implantée. Ces dernières années, le Ramadan se situait à la fin de la saison sèche, et cela a posé quelques problèmes pour les projets de digues filtrantes. Pendant la période du Ramadan, les musulmans ne mangent ni ne boivent de l'aube au coucher du soleil et le niveau de travail est très faible. Cependant, dans certains des villages musulmans il n'y a que les vieux et les vieilles qui "font" le carême. Dans d'autres, les villageois travaillent pendant la matinée, "font" le carême en principe mais peuvent boire "très peu" d'eau pendant le travail.

Avant de commencer un projet dans un village musulman il sera donc préférable de connaître les coutumes à l'égard du carême et de programmer ensuite le travail (hors du mois de Ramadan si possible).

Pour finir, examinons le cas de la concurrence posée par le travail d'exécution des diguettes. A cet égard, il y a une grande différence entre la province de Bam et la province du Yatenga:

Les villages de la province de Bam n'ont que peu d'expérience de la confection de diguettes. Les villages autour de Bourzanga ont vu des diguettes ailleurs et ont exprimé la volonté d'en réaliser comme supplément aux digues filtrantes, mais ils manquent de savoir faire et n'ont pas encore commencé les travaux.

Dans la province du Yatenga, il semble que beaucoup de villages ont une expérience des diguettes anti-érosives.

Il est fréquent qu'un ou plusieurs villageois aient suivi un stage de formation et/ou sensibilisation à la lutte anti-érosive. En général, ils savent manipuler un niveau à eau ou, du moins, peuvent vite être reformés.

En général, les paysans responsables de la confection de diguettes dans le village sont aussi très engagés dans la construction de la ou des digues filtrantes.

C'est ainsi que, à Hiwotenga, l'agro formateur a participé au piquetage de la digue, ainsi qu'une équipe de villageois qui savaient manipuler le niveau à eau. A Rimassa, 7 personnes ont participé à ce travail. A Solobo enfin, les deux agro-formateurs ont assisté le volontaire et les animateurs pour ce piquetage.

Il ne semble pas qu'il y ait une concurrence sur le plan de la motivation des villageois entre la digue filtrante et les diguettes anti-érosives. Il semble plutôt que le travail et les résultats de la digue filtrante inspirent aux villageois la volonté d'aménager les pentes également.

A Solobo par exemple, le groupement villageois de 20 personnes (qui savent toutes manipuler le niveau à eau) a construit des diguettes sur les champs en dehors du fond du thalweg. Après la construction de la digue filtrante, les propriétaires voisins de la zone aménagée ont fait appel au groupement pour venir les aider à construire des diguettes. On a donc travaillé tous les trois jours à la construction de la digue filtrante et ceux qui voulaient faire des diguettes y travaillaient entre les jours de travail collectif. Pour éviter qu'il y ait quelqu'un qui travaille pour lui même pendant les jours de travail collectif on a mis en place un système d'amendes selon lequel l'absence au travail collectif est taxée de 200 francs CFA par jour.

On ne peut exclure la possibilité que certains villages choisissent de ne construire que des diguettes (qui sont plus facile à confectionner). Mais ce sont souvent les mêmes personnes dynamiques qui (au moins au début) sont les "moteurs" dans les deux types de projets. Il est donc assez probable qu'une concurrence éventuelle entre construction des digues filtrantes et celle des diguettes anti-érosives sera beaucoup moins prononcée et beaucoup plus utile que la concurrence de la chasse à l'or, qui va influencer sur toutes les activités dans la région pour un certain nombre d'années.

Les problèmes de concurrence entre digues filtrantes et diguettes anti-érosives ne se posent donc pas en termes de construction, mais peut-être en termes d'organisation du travail et surtout en termes de choix des sites et de programmation des aménagements sur un même bassin versant. En effet, l'action des diguettes tend à freiner l'érosion et donc la régénération des sols par accumulation des dépôts dans le fond du thalweg derrière la digue filtrante. Par contre, la réalisation de diguettes après l'exécution d'une digue filtrante et sur son bassin versant amont, peut éventuellement conduire à éviter ou limiter le réhaussement de digues filtrantes, dans l'hypothèse d'un comblement à l'amont.

3.3.4. La mobilisation des villageois pour les projets:

3.3.4.1. La situation actuelle et les problèmes rencontrés:

3.3.4.1.1. Quels sont les premiers bénéficiaires des digues filtrantes ?

Le fait que la construction d'une digue soit réalisée en travail collectif conduit à se poser la question de savoir qui va profiter de la digue et comment la nature et le nombre des bénéficiaires va influencer sur la mobilisation villageoise. D'abord, qui sont les propriétaires des champs aménagés par la digue et qui travaille pour sa construction?

Le site d'implantation d'une digue obéit à des impératifs topographiques: les digues sont situées dans le fond des thalwegs, de préférence dans les endroits où la vitesse de l'eau

n'est pas trop grande. Sans plan du bas-fond il est très difficile de découvrir la situation foncière (les cartes "fabriquées" par le volontaire de Titao ont été d'un grand secours).

Les bonnes terres d'un village se trouvent en général dans le fond des thalwegs et elles appartenaient traditionnellement aux familles importantes du village. Dans tous les villages étudiés, ces grandes familles du temps de la chefferie traditionnelle ont conservé leurs champs. Au niveau politique, il semble que l'accession au pouvoir des CDR et la création de groupements villageois a apporté un changement au niveau des classes d'âge des hommes importants du village mais pas tellement au niveau des familles importantes: les délégués CDR, le président du groupement villageois sont souvent des fils des grandes familles traditionnelles.

A Doundegué, il y a trois digues et tout le terrain en amont de la première digue (100 m) appartient au chef du village. En amont de la deuxième digue (180 m) se trouvent les champs du délégué CDR (fils du chef de village), du président du groupement villageois et de l'imam. En amont de la troisième digue (82 m) il y a une dizaine de champs.

En amont de la digue à Manouale, il y a environ 17 champs dont les deux plus grands appartiennent au chef du village et son frère, le délégué CDR.

A Hiwotenga le commerçant Daouda KAFANDO a quasiment la totalité du terrain en amont de la digue (225 m).

A Rimassa, le grand bas fond appartient pour sa plus grande part aux familles MAIGA et KIRAKOYA qui occupent aussi la plupart des postes importants du village: chef du village, délégué CDR, présidents des groupements, etc. Pourtant, la majorité des membres du groupement de travaux était formée de personnes qui ne profiteraient pas directement de la construction de la deuxième digue.

La même situation se répète à Solobo, où le très grand bas-fond appartient aux familles ZANGO et OUEDRAOGO qui occupent les postes importants au village. Ces deux familles sont les plus grandes et il est normal qu'elles possèdent la plupart des terres, mais la totalité du bas-fond est monopolisée par elles.

Il faut donc reconnaître que, même si le choix du site prend en compte des considérations proprement techniques on constate une tendance à ce que les premières digues dans un village améliorent les conditions des personnalités politiquement importantes.

Les mêmes personnalités pèsent en général d'un grand poids dans les groupements quand une décision sur un travail collectif est à prendre et, si elles se prononcent pour le travail en question, la mobilisation générale en bénéficie sans doute. La mobilisation pour la première construction est importante: l'impact déjà évident après la première campagne motive pour le travail de la deuxième année. Par ailleurs il est important,

pour bien démarrer le projet, de bien s'entendre avec les gens d'influence au niveau des groupements et l'importance de leur "présence" dans le projet est indubitable.

Cependant, le fait que le point d'appui au village soit constitué par ces personnalités pose problème: on peut craindre en effet que leur motivation pour la réalisation des digues baisse de façon décisive quand leurs propres besoins auront été satisfaits.

3.3.4.1.2. Le problème de l'or:

Actuellement, la découverte récente d'un gisement d'or dans la région a une influence déterminante sur la vie et les visions paysannes. A Doundegué, le groupement villageois (celui qui a fait appel au volontaire pour la construction des digues) a décidé d'arrêter la construction des digues dans le village. Aux questions posées sur les raisons d'une telle décision, il a été répondu que ceux qui bénéficient déjà des aménagements vont aller chercher de l'or et que ceux dont le champ n'est pas encore aménagé n'ont qu'à s'organiser et rester faire des digues.

Il semble peu probable que les gens en question restent au village si les autres partent et que, même dans ce cas, ils puissent mettre en place l'organisation nécessaire pour accomplir le travail sans "les moteurs" de l'organisation villageoise.

A Manouale les villageois n'avaient pas pris de décision sur les constructions éventuelles de digues en saison sèche 86-87 mais, aux questions posées sur ce sujet, ils ont répondu que les villageois partiront un à un au chantier de recherche d'or sans s'organiser. (Au-paravant tout le village (hommes et femmes) participait à la "ruée vers l'or"). L'indécision du groupement pour la construction de digues cette année et le manque d'organisation de la "chasse de l'or" va sans doute rendre difficile l'organisation du travail collectif pendant cette saison sèche.

Par ailleurs, on peut craindre que la motivation des villageois pour faire des digues dont ils ne tireront aucun profit va baisser.

3.3.4.1.3. La participation des bénéficiaires:

Pendant la construction de la première digue à Rimassa le propriétaire situé directement en amont de la digue - Arouna KIRAKOYA - a approvisionné le chantier de travail collectif avec du mil et du zom koom selon la tradition qui veut que l'on nourrisse ceux qui travaillent sur son champ. Cette attitude tend à devenir une exception, malgré la tradition. Pour les travaux collectifs, beaucoup de villages (Doundegue, Pogonaoma, Manouale, Rissiam et Sankondé) ont reçu des vivres des missions,

qui venaient du CATHWELL. Dans la plupart des cas, les propriétaires de champs à aménager ont participé au travail. Mais lors de la construction de la deuxième digue à Rimassa, l'un des plus grands propriétaires en amont était en Côte d'Ivoire et il n'a rien donné pour l'approvisionnement en nourriture du chantier. Le fait que la plupart des villageois qui travaillaient à la construction de la digue ne pouvait espérer ni un profit agricole ni un repas pendant le travail a sans aucun doute eu une influence sur l'arrêt du travail avant son achèvement.

Le cas de Rimassa montre aussi l'importance de la présence des paysans bénéficiaires de la digue au travail. Leur présence, leur participation au travail, semblent être décisives pour la mobilisation des autres. Il est suffisamment dur de travailler sur un ouvrage dont on ne tirera pas profit immédiatement pour que soit compréhensible le découragement si les bénéficiaires ne travaillent pas.

Pour éviter que le village ne s'arrête d'aménager ses terrains après un an d'intervention de l'AFVP, il semble raisonnable d'assurer le maintien de l'intérêt des gens non bénéficiaires mais qui ont travaillé à la construction.

3.3.4.1.4. Propositions:

On peut imaginer plusieurs possibilités de modifications ou d'élargissements du projet, et les propositions suivantes sont des esquisses qui, si elles devaient être appliquées, devraient être mises au point selon le contexte du projet en question.

La façon la plus facile de susciter l'intérêt de tout le monde serait que tous les participants à la construction aient un champ aménagé derrière la première ou la deuxième digue construite. Avec les traditions de prêt de la terre on peut imaginer que le(s) propriétaire (s) du(des) champ(s) prête un champ au groupement villageois (ou le groupement responsable du travail) pour qu'il puisse le cultiver comme un champ collectif.

Cependant, les discussions avec les villageois ont montré que ce type de prêt ne concerne que des prêts de terre non aménagée. Si un propriétaire de champs aménagés et non aménagés prête des champs, ce sont des champs non aménagés. La mise en place d'un système de prêt de terrains aménagés risquerait d'être très difficile, les terrains en question étant les meilleurs champs des propriétaires.

Il reste (au moins) 2 façons d'assurer un intérêt direct pour le projet à ceux qui n'ont pas de terrain aménagé derrière la digue: on peut envisager d'élargir le projet pour qu'il intègre des aménagements de conservation des eaux et des sols sur les pentes ou que les villageois élaborent un système de

redistribution des différentiels de production au profit de tout le village. Ces deux types de modifications des projets pourraient être envisagés simultanément.

3.3.4.2. L'élargissement des projets à la construction de diguettes anti-érosives.

Afin d'élargir les projets de digues filtrantes, on peut imaginer l'intégration d'une formation à la confection de diguettes au profit des villageois dans le projet. Pour les villages qui n'ont que peu d'expérience dans ce domaine, une telle modification serait sans doute intéressante.

La formation et l'animation de paysans pour la construction simultanée des diguettes anti-érosives a deux avantages pour le projet digues filtrantes (en plus de l'effet écologique/agricole dont il faudrait discuter par ailleurs sur le plan technique):

Premièrement, c'est une occasion d'apporter un savoir faire au village, et la construction d'un grand nombre de diguettes permettra un recyclage permanent à propos d'une technique utile pour les constructions de digues filtrantes. Deuxièmement, si on arrive à intégrer le volet "construction des diguettes" dans le projet digues filtrantes, on s'assure l'intérêt des propriétaires de terrains situés hors du fond du thalweg.

Il est vrai qu'une intégration de ce volet dans le projet peut poser des problèmes d'organisation (disponibilité en temps et peut-être même en cailloux) et il sera très important de bien programmer les activités.

Prenons l'exemple de Solobo: on a pu y organiser les deux types de travail: 1 jour de travail collectif (digues filtrantes) et deux jours de travail individuel avec l'appui technique du groupement villageois (diguettes), avec un système d'amendes pour l'absence au travail collectif. Un type d'organisation analogue peut être mis au point dans les villages qui expriment une volonté de faire les deux types d'ouvrages, comme par exemple Manouale et Pogonaoma.

La formation de paysans à manipuler les niveaux à eau, donnés par le PAE (Projet Agro-Ecologie), le PAF (Projet Agro Forestier) et le FER (Fonds de l'Eau et de l'Equipement Rural - Ministère de l'Eau.) au Yatenga, dure normalement 1 ou 2 jours avec un recyclage une semaine après. Elle constitue donc un bon point de départ pour former un groupe "topographique" au village en faisant participer un tel groupe au piquetage de la digue. L'intervention de l'AFVP serait donc un outil idéal de sensibilisation et de formation des paysans dans ce domaine.

En ce qui concerne les modalités de cette formation, il serait préférable de former plusieurs personnes (dans certains villages, la seule personne formée a émigré) et que ces personnes représentent l'ensemble des quartiers/familles du village. Cela permettrait d'éviter qu'une seule famille (la famille

dynamique/importante) monopolise le savoir faire et d'assurer que les familles dont les terrains sont sur les pentes profitent également du projet.

Dans les villages où l'on construit déjà des diguettes, il faudrait sans doute organiser une collaboration avec le groupement responsable de cette activité pour éviter une concurrence éventuelle. En mettant les choses au mieux le projet digues filtrantes peut profiter du savoir faire sur place.

3.3.4.3. La redistribution des différentiels de production:

Une autre façon d'assurer un intérêt direct dans le projet pour ceux qui n'ont pas de champ en amont de la digue pourrait être une sorte de redistribution de la production supplémentaire due à l'impact de la digue sur les rendements, sous la forme d'un fonds de roulement.

Ce type de développement du projet est certainement plus délicat que l'élargissement qu'on vient de suggérer. L'objectif n'est pas de décrire ici un mécanisme financier fixe pour une redistribution des suppléments de production et ce n'est pas le rôle du volontaire/l'AFVP que d'imposer un tel mécanisme aux villages. Néanmoins, certains villages discutent eux-mêmes "l'équité" du projet et cherchent des solutions. La proposition suivante est donc à considérer comme une petite contribution à cette discussion.

Comme déjà mentionné, il existe une tradition selon laquelle un propriétaire paye ou nourrit les personnes qui viennent travailler sur son champ. Cependant, il est rare, en ce qui concerne les projets digues filtrantes, qu'une telle rémunération ait été fournie par les propriétaires, et lorsqu'il y a eu distribution de vivres au chantier, il s'agissait le plus souvent de vivres du CATHWELL distribués par les missions catholiques. Avec le départ du CATHWELL du Burkina cette année, il est facile de prévoir des problèmes de motivation pour le travail sur les prochains chantiers de digues.

L'idée est la suivante : les propriétaires des champs en amont de la digue (les champs qui bénéficient de l'impact de la digue) cèdent une partie de leurs récoltes à une caisse pendant plusieurs années. Ce fonds de roulement de vivres servirait aux travaux collectifs du village: il pourrait servir pour la construction des digues filtrantes les premières années, mais plus tard, et lorsque le nombre de bénéficiaires se sera élevé (puisque le nombre de champs aménagés aura augmenté), ce fonds pourrait servir aux autres travaux collectifs du village.

Nombre de questions se posent ensuite: quelle est le montant global du prélèvement sur le supplément de production, comment déterminer la valeur à payer par chacun, sur combien d'années doit-on effectuer ce prélèvement, qui va gérer le fonds de roulement ?

La quantité de mil à prélever peut : soit être calculée au pro-rata de la récolte (une dîme), soit être une quantité fixe. L'avantage d'une quantité en fonction de la récolte est que le fonds va être alimenté avec des quantités croissantes (si les rendements augmentent) et que dans le cas d'une mauvaise année, le prélèvement ne sera pas une catastrophe pour les propriétaires. L'inconvénient est lié au risque qu'ils ne déclarent moins que ce qu'ils ont réellement récolté.

Si on choisit une quantité fixe - par exemple la quantité de mil consommée au chantier de construction de la digue en question - on aura l'avantage d'une plus grande facilité de gestion et d'une sécurité plus grande sur le taux de recouvrement (il sera plus facile de vérifier que la somme à payer l'est totalement). Cette quantité sera un repère pour les contribuables : le choix de cette somme va lier le remboursement des propriétaires au travail collectif du village, donc renforcer l'intérêt mutuel à construire des digues pour tout le monde. Dans le cas d'une mauvaise année, on pourra peut être repousser le remboursement de cette année là à l'année suivant la dernière année programmée pour les remboursements.

De la même manière que pour le choix du montant global des prélèvements, la répartition de la charge de remboursement peut être fixe ou proportionnelle à la récolte de chacun. L'avantage d'une somme fixe est que cela facilite la gestion, mais il est évident qu'une telle solution sera injuste si l'on prend en compte la grande variété de superficie des champs. Mesurer les champs pour distribuer les charges de remboursement serait un gros travail pour le groupement de gestion ou le volontaire. Il semble donc raisonnable de laisser les propriétaires se répartir eux mêmes les charges. Avec un remboursement global fixe pour l'ensemble des bénéficiaires, ces derniers auront un seuil de production à atteindre, et avec un système flexible de répartition il sera possible de s'adapter aux variations éventuelles des rendements individuels d'une année à une autre.

En ce qui concerne la durée de ce système de remboursement, il sera toujours possible de trouver de bons arguments justifiant dans l'abstrait n'importe quelle durée, et il semble vain d'en discuter ici. Elle doit être adaptée pour chaque village individuellement et il semble difficile de généraliser a priori.

La gestion du fonds de roulement pourrait être prise en charge soit par un groupement qui existe déjà, soit par un nouveau créé pour cette tâche. Il faut d'abord préciser l'objectif et les tâches d'un tel groupement : il doit gérer un système qui entretienne la motivation pour le projet des villageois dont les champs n'ont pas encore été aménagés ; il doit collecter et stocker les quantités prélevées et ensuite distribuer les vivres au chantier. Et lors d'une mauvaise année il lui appartiendra de décider de repousser ou non le remboursement de cette année-là à la fin de la période.

Ces fonctions ressemblent un peu à celles du groupement de travaux, qui collecte des cotisations pour le camion et les petits matériels, garde et distribue les petits matériels au chantier. A première vue, il semble raisonnable de laisser le groupement de travaux prendre en charge les nouvelles tâches de la gestion d'un fonds de roulement, pour ne pas multiplier les groupements. Cependant, il faut garder à l'esprit que les membres du groupement de travaux sont souvent recrutés dans les familles dynamiques/importantes et qu'ainsi les propriétaires des champs aménagés sont fortement représentés. Pour éviter que les intérêts des propriétaires ne viennent en contradiction avec les objectifs du fonds de roulement, il serait nécessaire d'assurer une représentation de toutes les familles/quartiers dans le groupement.

Un tel fonds de roulement pourrait éventuellement être le point de démarrage d'une banque de céréales ou aider à alimenter une banque qui existe déjà. A l'heure actuelle, on manque de cas concrets qui permettraient de pousser plus avant cette réflexion.

3.4. CONCLUSIONS

Bien que la rentabilité d'une digue filtrante soit difficile à quantifier, comme on l'a vu dans le paragraphe 2.3, on peut conclure que l'effet des digues au niveau de l'amélioration des conditions écologiques et des potentialités agricoles est incontestable. Par ailleurs, il semble que les digues filtrantes peuvent être très rentables dans le cas des projets à grande échelle - réserves faites sur les possibilités d'extrapolation dans des régions naturelles de type différent où les conditions géomorphologiques et topographiques sont moins favorables.

On a vu que le changement des conditions agricoles demande souvent des cultures et pratiques nouvelles. Un "guide des cultures" est à recommander pour faciliter ce processus. Ce guide devrait analyser les variations des conditions du sol en fonction de la distance à la digue et du temps écoulé depuis la construction, et indiquer les cultures les plus adaptées à ces différents types de conditions.

Pour mieux suivre l'évolution des rendements après la construction de la digue, il sera important d'enregistrer systématiquement les résultats obtenus champ par champ, chaque année.

L'entretien de la digue est vital mais il semble que l'organisation de la réparation diffère d'un village à un autre. Ce sont parfois les propriétaires qui interviennent, parfois le groupement. Il est important que la responsabilité de l'entretien soit bien définie à l'avance. Cette organisation peut prendre plusieurs formes : on pourrait décider que c'est aux propriétaires en amont de renouveler le stock de cailloux, et au groupement villageois de mettre les pierres en place en cas de cassure. En effet, pour le ramassage, les délais peuvent être relativement larges mais la mise en place des cailloux doit se faire le lendemain de la cassure et avant la pluie suivante. La responsabilité de la réparation devrait être attribuée à un personnage ayant l'autorité nécessaire, formé sur le plan technique et conscient de sa responsabilité.

Les diverses façons de prélever les cotisations dans les villages rendent les conclusions générales difficiles. Il semble cependant que certains villages aient des problèmes pour collecter la somme nécessaire pour le projet. Cette somme étant relativement symbolique, il ne semble pas que soit mise en cause la capacité financière des villages, mais plutôt la capacité du groupement de travaux : soit à évaluer la somme nécessaire, soit à prélever les cotisations auprès des villageois ou groupements.

Il serait donc utile que les villageois aient une idée précise de la somme globale nécessaire avant de démarrer les travaux : le volontaire/animateur doit, avec le groupement de travaux, faire une estimation de la somme à réunir et pourrait soumettre le début des travaux à l'obtention de cette somme. A souligner que la somme pour laquelle cotisent les villageois, semble avoir plusieurs fonctions : elle responsabilise les

villageois qui viennent travailler quand ils ont payé le camion afin de "rentabiliser" le plus possible leur "investissement"; elle joue sans doute également un rôle dans la motivation ultérieure pour l'entretien. Enfin la cotisation matérialise la capacité du village à se mobiliser et confère peut-être aux villageois une certaine considération pour eux-mêmes.

En ce qui concerne la gestion de la caisse commune, il faut souligner l'importance du contrôle par la collectivité de la gestion des ressources communes afin d'éviter de décourager les villageois pour le paiement des cotisations.

Le fait que la construction d'une digue soit réalisée en travail collectif mais que le bénéfice de la digue se manifeste au niveau individuel, impose une solution qui assure l'intérêt de tout le village pour le projet. La meilleure façon de susciter l'intérêt de tout le monde serait que tous les participants à la construction aient un champ aménagé derrière la première ou la seconde digue construite. Cependant l'étude a montré que la tradition de prêt de terre ne concerne que les terres non-aménagées. La mise en place d'un système de prêt de terrains risquerait d'être très difficile, les terrains en question étant les meilleures parcelles des propriétaires.

D'autres façons d'assurer un intérêt direct pour le projet à ceux qui n'ont pas de terrain aménagé derrière la digue seraient : soit d'élargir le projet pour qu'il intègre des aménagements de conservation des eaux et des sols sur les pentes, soit que les villageois élaborent un système de redistribution des différentiels de production au profit de tout le village. Ces deux types de modifications pourraient être envisagés simultanément. La redistribution d'une partie de la production se ferait sous forme d'un roulement qui pourrait être éventuellement le point de démarrage d'une banque de céréales.

- A N N E X E S -

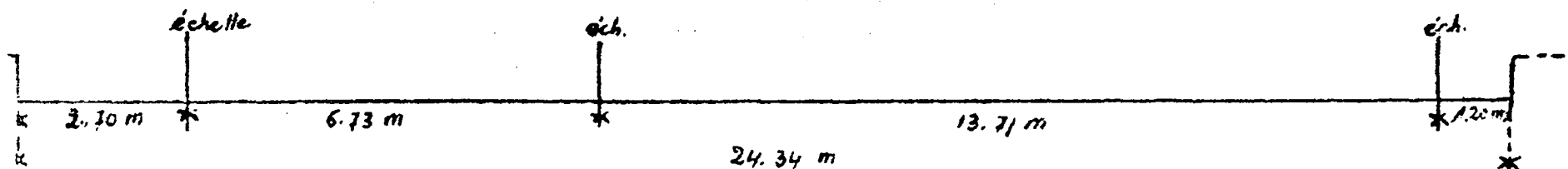
**ANNEXES DE LA
DEUXIEME PARTIE**

ANNEXE 1 :

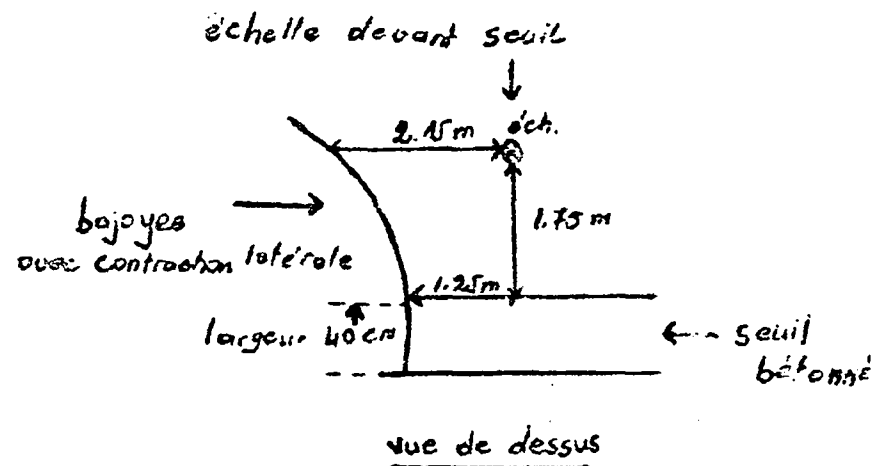
Fonctionnement hydraulique des digues filtrantes

- ANNEXE 1.1 : Equipement et caractéristiques des digues filtrantes
- ANNEXE 1.2 : Carte de localisation des villages de Sankondé et Nané
- ANNEXE 1.3 : Relevés d'observations de pluviométrie et de niveaux sur les seuils de Sankondé et Nané
- ANNEXE 1.4 : Pluviométrie 1986 à Kongoussi
- ANNEXE 1.5 : Courbes hauteurs- volumes retenus derrière les digues de Sankondé et Nané
- ANNEXE 1.6 : Dignes de Sankondé et Nané : surface de filtration en fonction de la hauteur
- ANNEXE 1.7 : Programme de calcul du débit déversant sur une digue filtrante en fonction de la hauteur

Sankondé (25/9) : - équipement et dimensions du seuil
 - variations du niveau du seuil

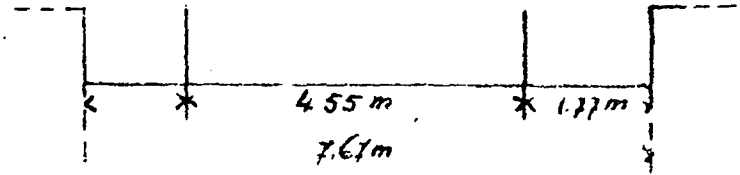


distance (m)	ΔH_1 (cm)	ΔH_2 (cm)	ΔH_3 (cm)
0	0.2	-2.0	-1.8
2.10	0.6	-2.1	-1.5
5.30	0.6	-2.1	-1.5
6.30	1.7	-2.2	-0.5
9.00	0.6	-2.3	-1.7
10.60	2.4	-2.3	+0.1
11.00	1.8	-2.4	-0.6
13.10	5.6	-2.5	+3.1
16.00	6.1	-2.3	+3.6
17.00	6.5	-2.6	+3.9
17.40	6.7	-2.7	+4.0
18.60	6.3	-2.7	+3.6
20.00	6.1	-2.8	+3.3
21.00	6.6	-2.9	+3.7
22.50	6.5	-2.9	+3.6
23.50	6.3	-3.0	+3.3

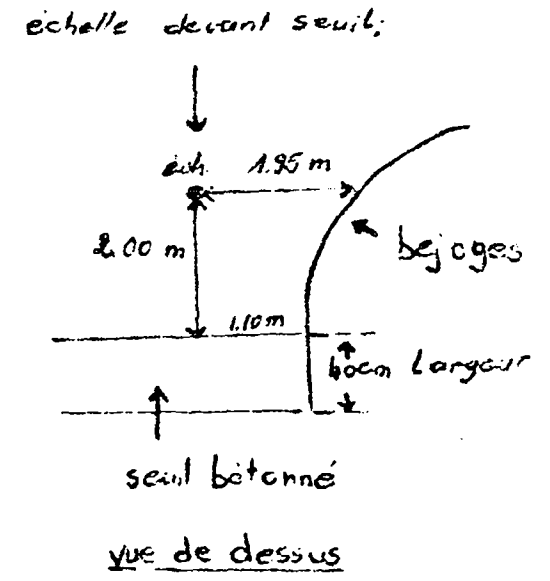


ΔH_1 = hauteur déversoir moins niveau de l'eau
 ΔH_2 = niveau de l'eau indiqué par échelle devant seuil
 ΔH_3 = hauteur déversoir indiqué par échelle devant seuil

Nané (21/9) : - équipement et dimensions du seuil
 - variations du niveau du seuil



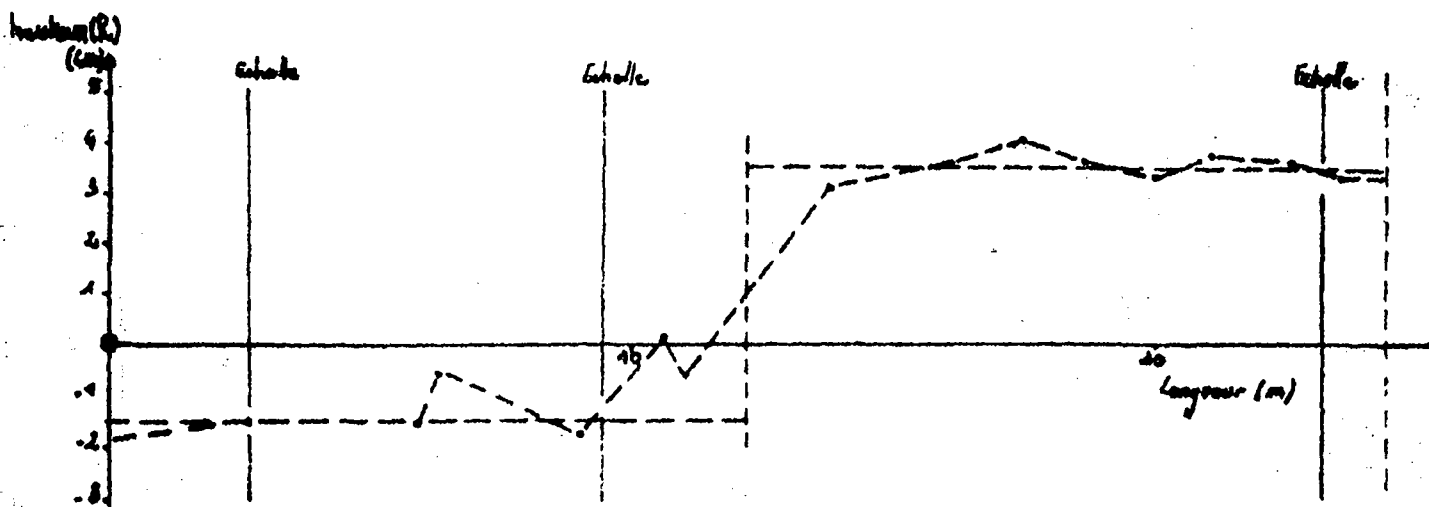
distance (m)	ΔH_1 (cm)	ΔH_2 (cm)	ΔH_3 (cm)
0.20	14.0	-13.7	+0.3
1.10	15.8	-13.7	+2.1
1.35	15.3	-13.7	+1.6
2.07	15.5	-13.7	+1.8
3.70	13.9	-13.7	+0.2
5.10	12.4	-13.7	-1.3
5.90	12.8	-13.7	-0.9
6.50	12.8	-13.7	-0.9



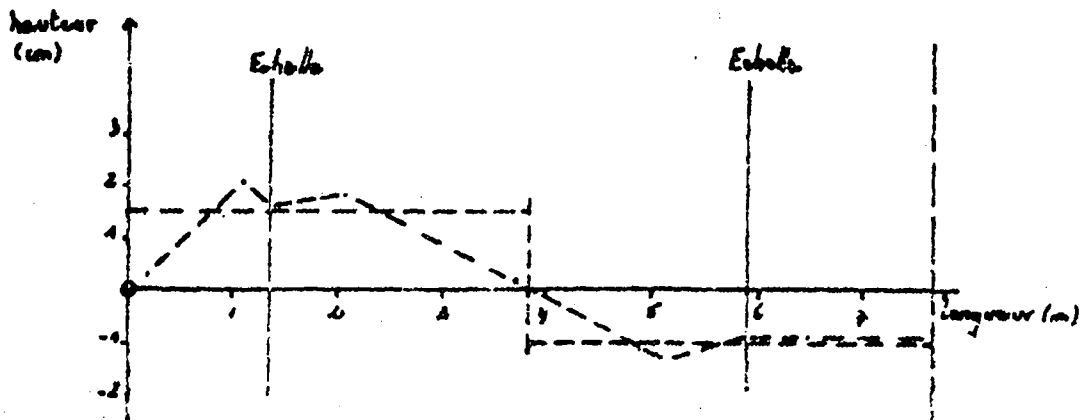
ΔH_1 = hauteur déversoir moins niveau de l'eau
 ΔH_2 = niveau de l'eau indiqué par échelle devant seuil
 ΔH_3 = hauteur déversoir indiquée par échelle devant seuil

Sankondé : variation du niveau du seuil

A.1.1.3.



Nané : variation du niveau du seuil





ANNEXE 1.2



ANNEXE 1.3. OBSERVATIONS DE PLUVIOMETRIE ET DE

A.1.3.1

Sankondi (deuxième partie)	NIVEAUX SUR LES SEUILS DE SANKONDI ET NANÉ (EXEMPLES)						
date de la pluie	2 - 9						
l'heure de début	12'40"						
l'heure de fin pluviomètres	13 / (13)						
	Échelle devant digue			Échelles devant / sur seuil			
	l'heure	hauteurs (cm)		l'heure	hauteurs (cm) :		
	13'15"	36		13'15"	0.5	0	0
	13'30"	77		13'20"	1.5	0.5	0.5
	13'45"	127		13'25"	3	1.5	1.5
	13'50"	135.5		13'30"	4	2	2
	13'55"	140		13'35"	7	4	4
	13'58"	141		13'40"	11	6	6
	14'02"	139		13'45"	15	8.5	8.5
	14'07"	137.5		13'50"	17	10	10
	14'23"	123		13'55"	18.5	11	11
	14'35"	111		14'00"	19	11.5	11.5
				14'05"	18.5	11	11
				14'10"	18	10.5	10.5
				14'15"	17	10	10
				14'20"	16	9.5	9.5
				14'25"	15	8.5	8.5
				14'30"	13.5	8	8
				14'35"	12.5	7	7
				14'40"	11	6	6
				14'45"	10	5	5
				14'50"	8.5	5	5
				14'55"	7	4	4
				15'00"	6.5	3.5	3.5
				15'05"	6	3	3
				15'10"	5	3	3
				15'15"	4	2.5	2.5
				15'20"	3.5	2	2
				15'25"	3	2	2
				15'30"	2.5	1.5	1.5
				15'35"	2	1	1
				15'40"	2	1	1
				15'45"	1.5	0.5	0.5
				15'50"	1	0.5	0.5
				15'55"	1	0	0
				16'00"	1	0	0
				16'05"	0.5	0	0
				16'10"	0.5	0	0
				16'15"	0.2	0	0
				16'20"	0	0	0

Sankondé

date de la pluie
l'heure de début
l'heure de fin
pluviométrés

5 - 9
9'30"
13'00"
30 / 33

échelle devant digue

échelle devant seuil

échelle devant digue		échelle devant seuil	
l'heure	hauteur (cm)	l'heure	hauteur (cm)
9'30"	0	9'50"	0
9'35"	18.5	9'55"	2
9'40"	19.5	10'00"	3.5
9'45"	25.5	10'05"	4
9'50"	43.5	10'10"	6.5
9'55"	55	10'15"	10.5
10'00"	66	10'20"	15.5
10'05"	81	10'25"	20.5
10'10"	100	10'30"	24.5
10'15"	117.5	10'35"	28
10'20"	135.5	10'40"	29
10'25"	150	10'45"	29
10'30"	157.5	10'50"	
10'35"	160.75	10'55"	(25)
10'40"	160.5	11'00"	23.5
10'45"	158.5	11'05"	19
10'50"	155.75	11'10"	17.5
10'55"	152.5	11'15"	17
11'00"	148	11'20"	16.5
11'05"	144	11'25"	15.5
11'09"	140	11'30"	13.5
		11'35"	
		11'40"	11.5
		11'45"	10
		11'50"	9
		11'55"	8.5
		12'00"	7.5
		12'05"	7
		12'10"	6
		12'15"	5
		12'20"	4.5
		12'25"	4
		12'30"	3.5
		12'35"	3
		12'40"	2.5
		12'45"	2

Sankondé

date de la pluie
l'heure de début
l'heure de fin
pluviomètres

5 - 9
9'30"
13'00"
30 / 33

échelle devant digue		échelle sur digue		échelle devant digue		échelle sur digue	
l'heure	hauteur (cm)	l'heure	hauteur (cm)	l'heure	hauteur (cm)	l'heure	hauteur (cm)
10'20"	135.5	10'20"	0	10'45"	158.5	10'45"	11.5
10'21"	139	10'21"	2	10'46"	158	10'46"	11.5
10'22"	143	10'22"	3.5	10'47"	157.5	10'47"	11
10'23"	146	10'23"	4	10'48"	157	10'48"	10
10'24"	148.5	10'24"	5.5	10'49"	156.5	10'49"	9.5
10'25"	150	10'25"	7	10'50"	155.75	10'50"	9
10'26"	152.5	10'26"	8	10'51"	155	10'51"	8.5
10'27"	154	10'27"	8.5	10'52"	154	10'52"	8
10'28"	155.5	10'28"	9.5	10'53"	153.75	10'53"	8
10'29"	157	10'29"	10	10'54"	153	10'54"	7.5
10'30"	157.5	10'30"	10	10'55"	152.5	10'55"	7.5
10'31"	158.5	10'31"	11.5	10'56"	151.5	10'56"	7
10'32"	159	10'32"	11.5	10'57"	150.75	10'57"	6.5
10'33"	160	10'33"	12	10'58"	150	10'58"	6
10'34"	160.5	10'34"	12.5	10'59"	149	10'59"	5.5
10'35"	160.75	10'35"	12.5	11'00"	148	11'00"	5
10'36"	160.75	10'36"	12.5	11'01"	147	11'01"	4.5
10'37"	160.75	10'37"	12.5	11'02"	146.5	11'02"	4.5
10'38"	160.75	10'38"	12.5	11'03"	145.75	11'03"	3.5
10'39"	160.75	10'39"	12.5	11'04"	145	11'04"	3
10'40"	160.5	10'40"	12.5	11'05"	144	11'05"	2.5
10'41"	160.5	10'41"	12	11'06"	143	11'06"	2
10'42"	160	10'42"	12	11'07"	142	11'07"	1.5
10'43"	159.75	10'43"	12	11'08"	141	11'08"	1
10'44"	159	10'44"	12	11'09"	140	11'09"	0

A.1.3.3.

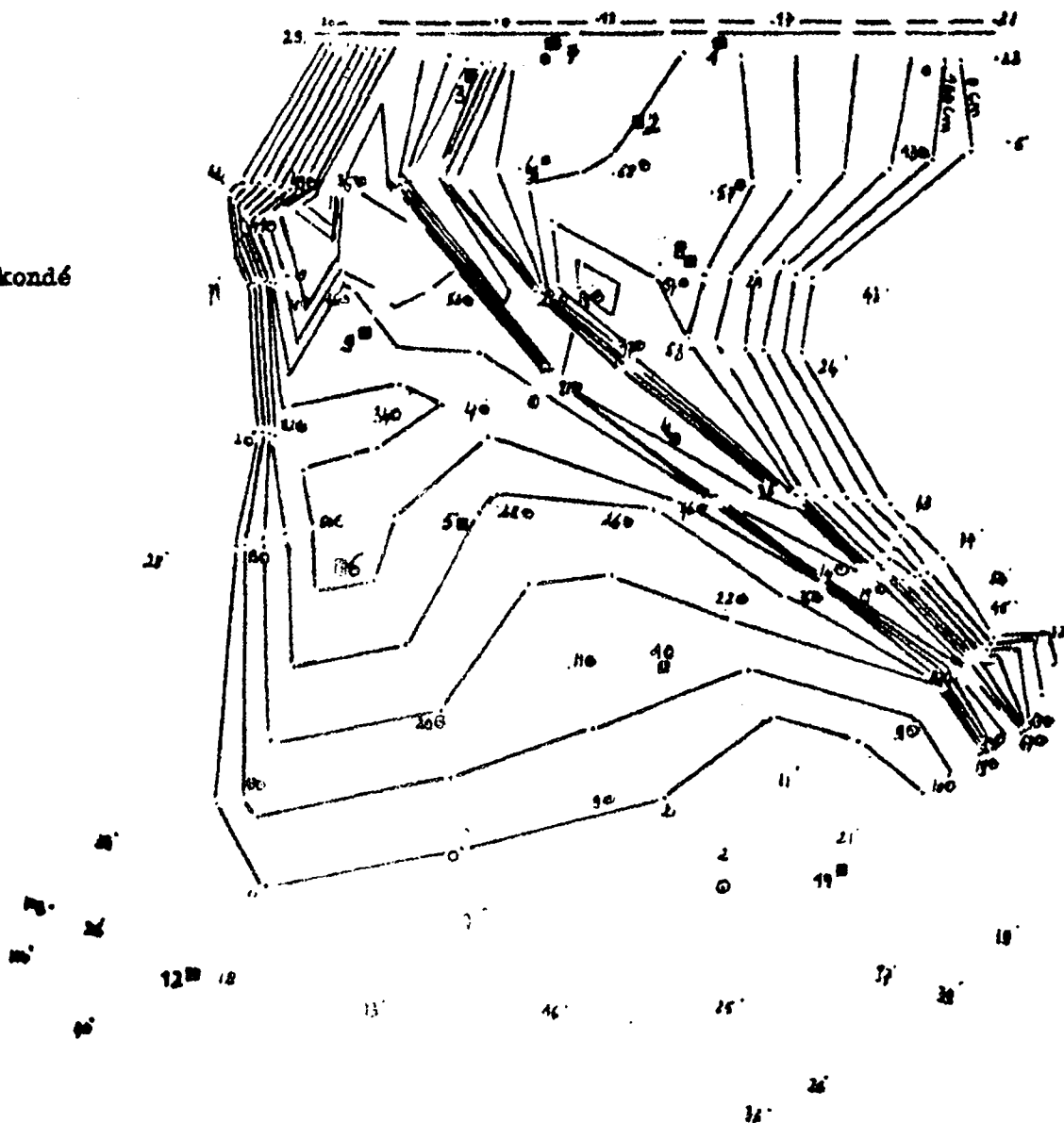
ANNEXE 1.4. : Pluviométrie 1986 - Kongoussi

DATE	PLUVIOMETRIE (mm)	PLUVIOMETRIE mensuel (Cmm)
3/5	13,0	33,5
20/5	2,0	
27/5	1,5	
30/5	12,0	
31/5	6,0	
5/6	10,0	98,5
8/6	5,0	
12/6	22,5	
13/6	7,5	
19/6	33,5	
25/6	8,0	
30/6	12,0	
6/7	6,0	116,0
8/7	24,0	
13/7	7,0	
20/7	3,0	
22/7	24,0	
24/7	25,5	
28/7	1,5	
29/7	20,0	
3/8	5,0	152,5
7/8	25,0	
10/8	9,0	
12/8	6,0	
14/8	4,5	
17/8	17,0	
19/8	24,0	
22/8	13,0	
26/8	21,5	
30/8	2,5	
31/8	20,0	
2/9	5,0	118,5
5/9	62,0	
8/9	10,0	
9/9	4,0	
10/9	5,5	
18/9	7,0	
21/9	17,5	
23/9	2,5	
25/9	5,0	
29/9	1,0	
TOTAL	520,0 mm	41 Jours

ANNEXE 1.5. : Détermination des courbes hauteur-volume
des retenues à l'amont des digues de Sankondé-seuil
et Nané

A.1.5.1.

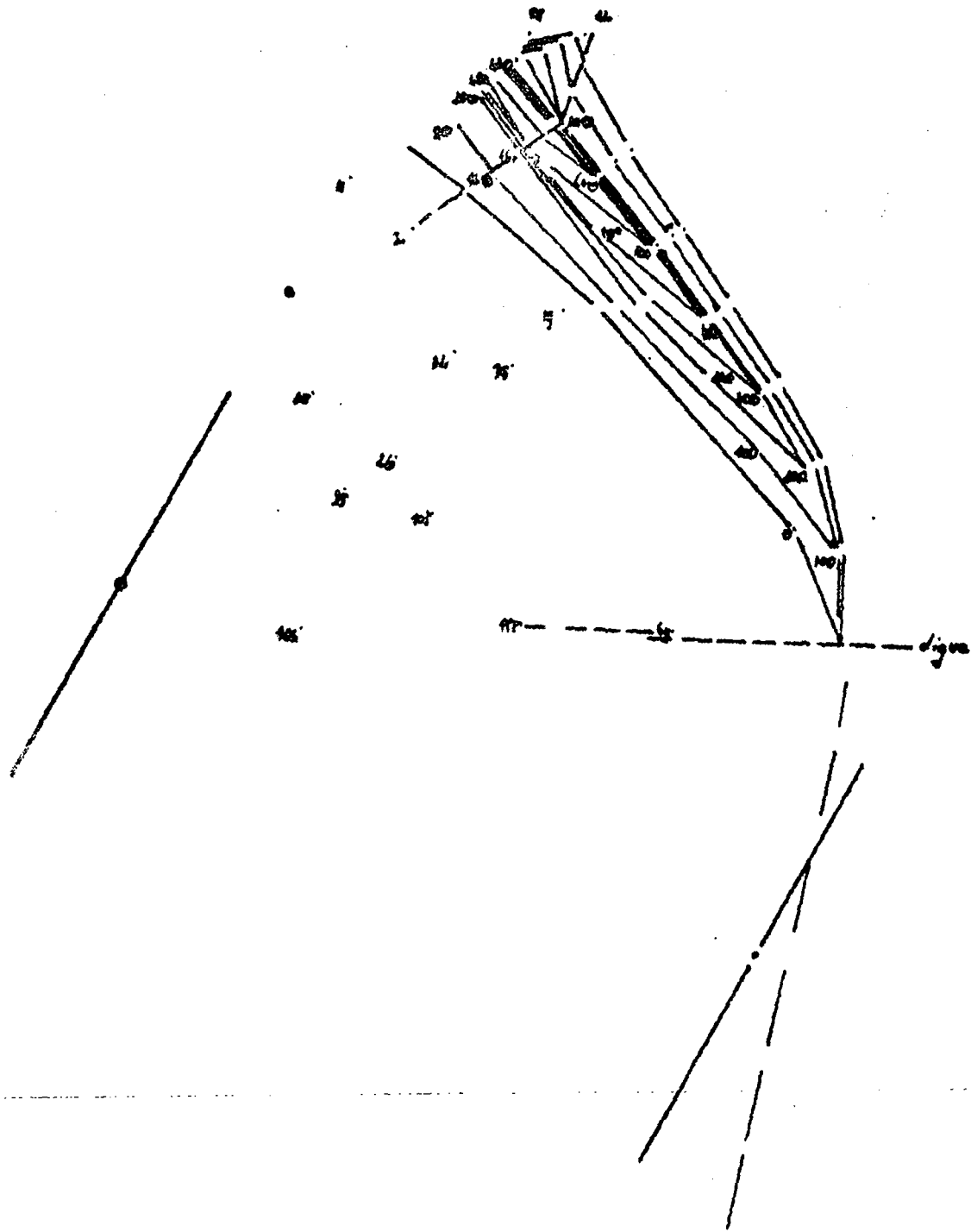
Sankondé



Surface :	0 cm	400 cm	2000 cm	3000 cm	4000 cm	5000 cm	6000 cm	7000 cm	8000 cm	9000 cm	10000 cm	11000 cm
	6118	5448	4646	3219	2167	1240	1085	665	400	233	143	52
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²

5 m

Sankondé-seuil (suite)

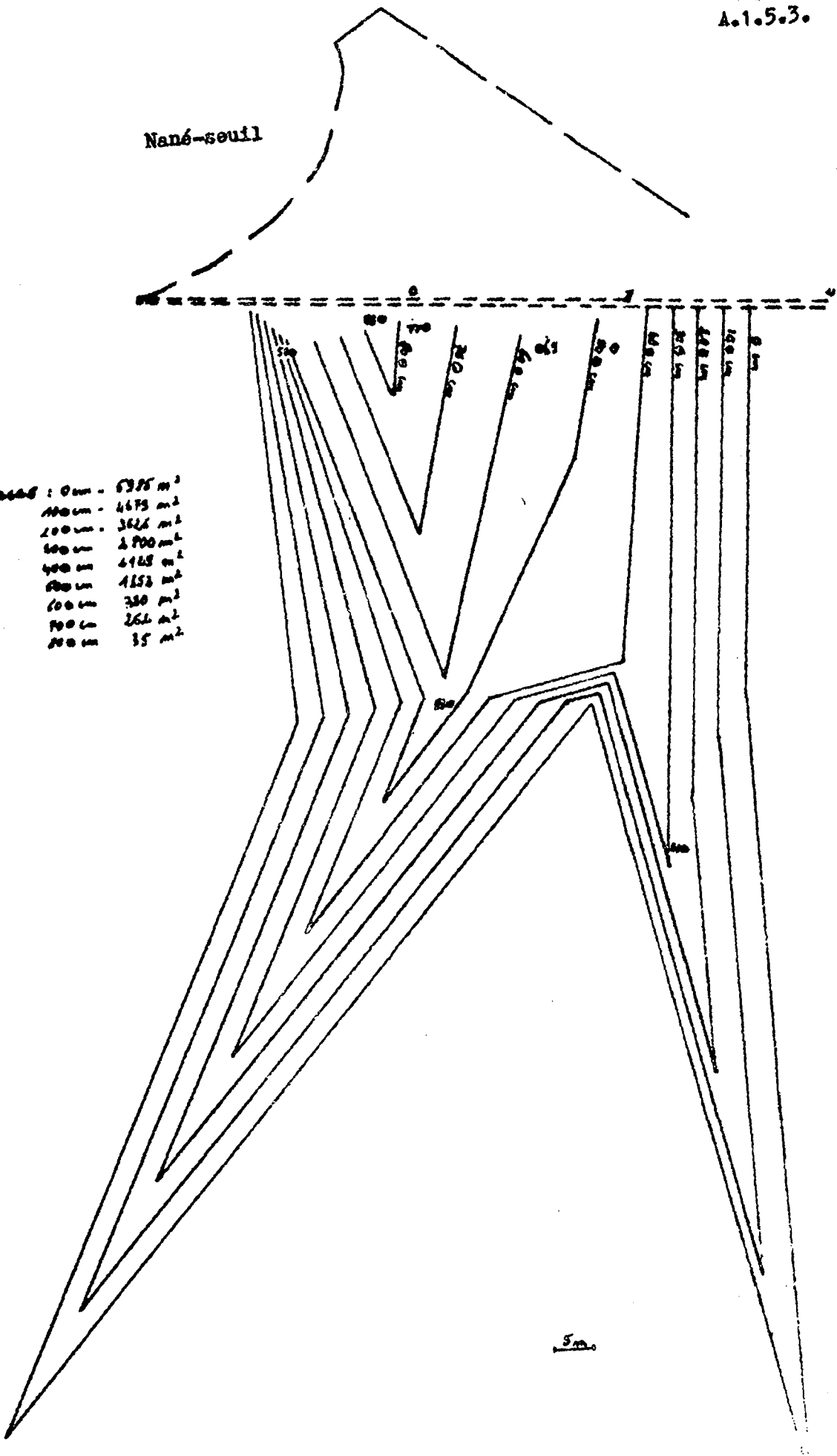


5m

A.1.5.3.

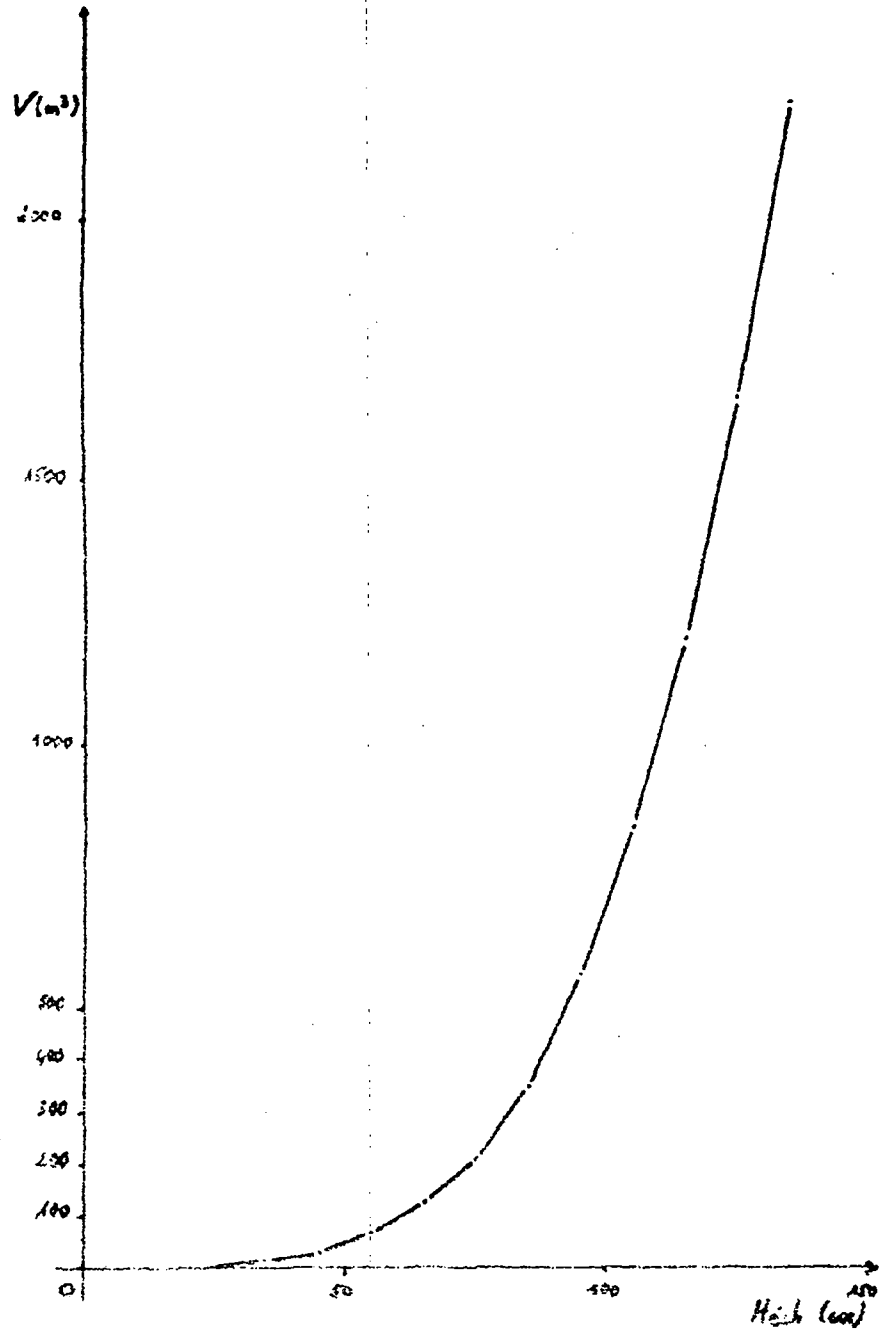
Nané-seuil

Surfaces :	0 m -	6375 m ²
	100 m -	4675 m ²
	200 m -	3626 m ²
	300 m -	2700 m ²
	400 m -	1928 m ²
	500 m -	1153 m ²
	600 m -	380 m ²
	700 m -	266 m ²
	800 m -	35 m ²

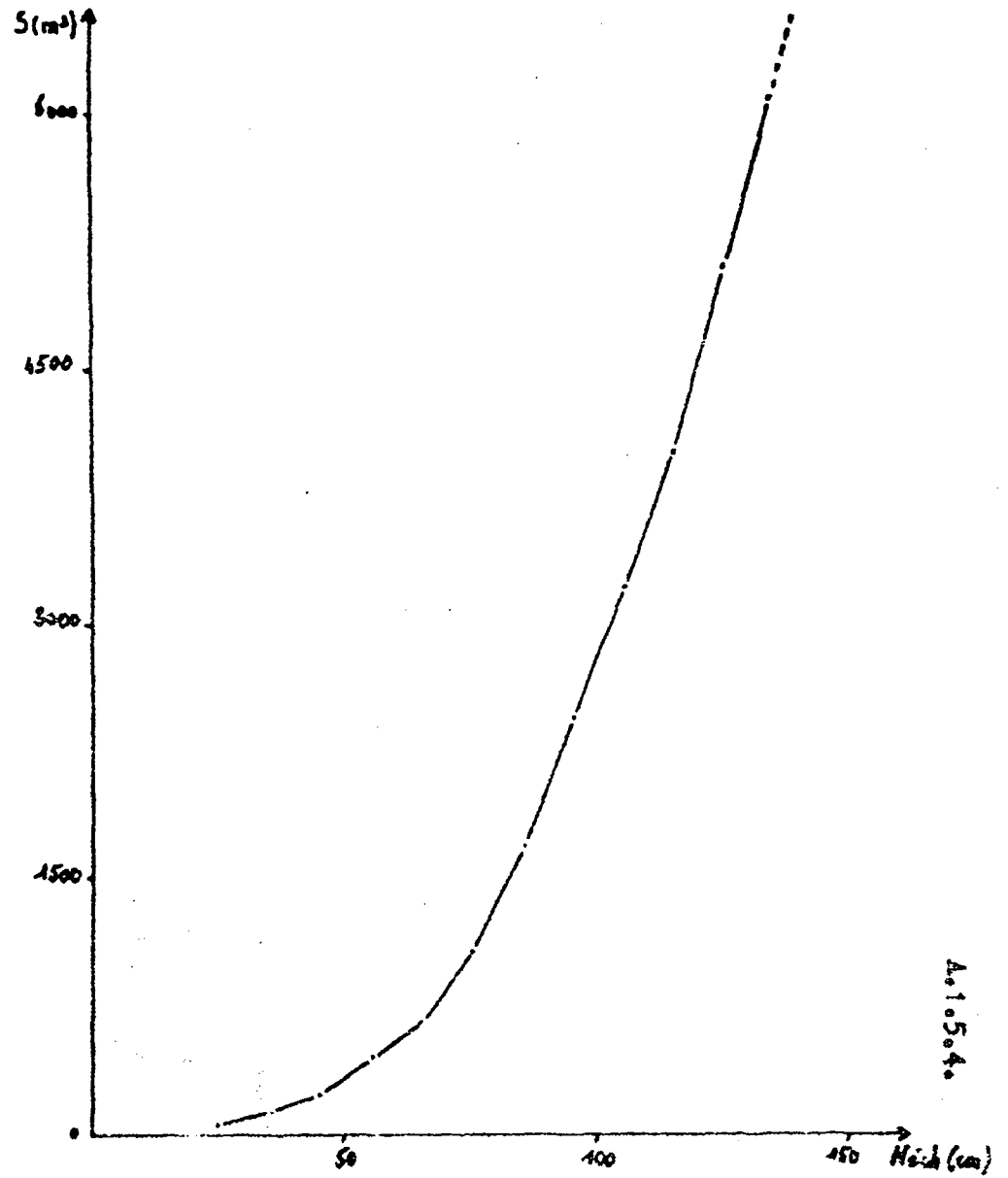


5 m

Sankondé - seuil : volume d'eau devant la digue (V)
 en fonction de la hauteur d'eau (Héch)

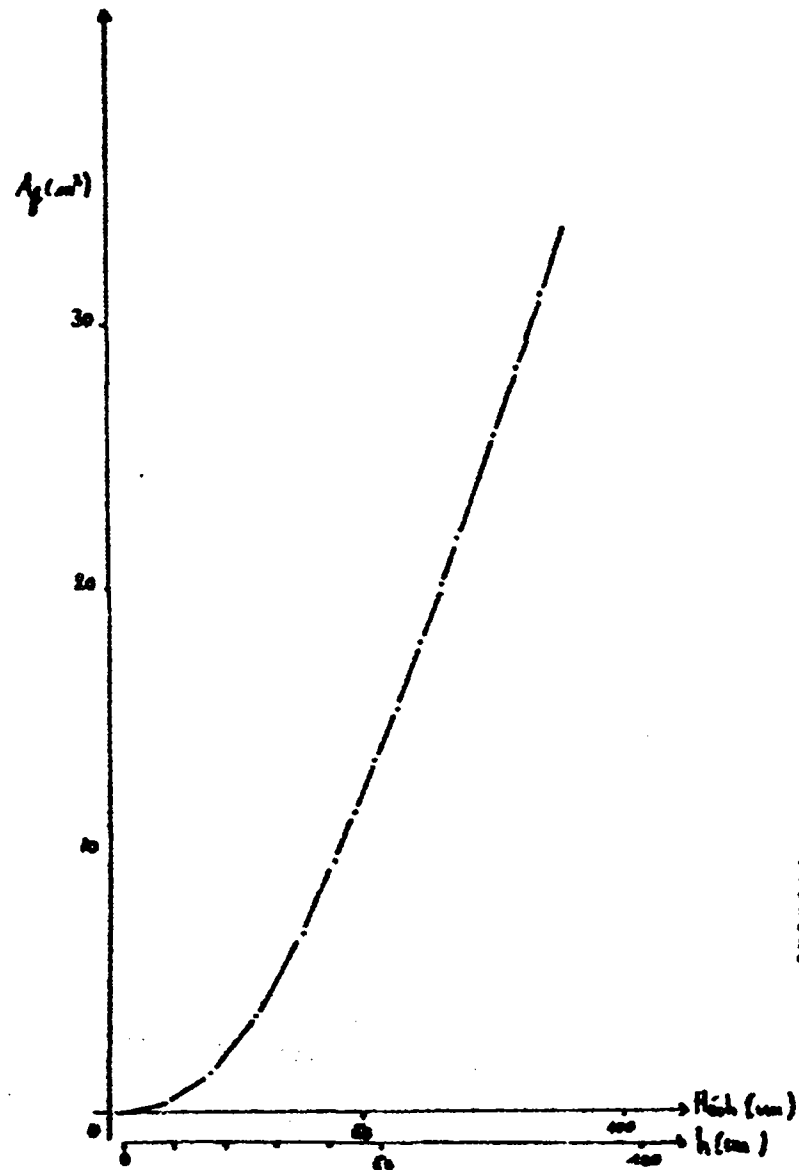
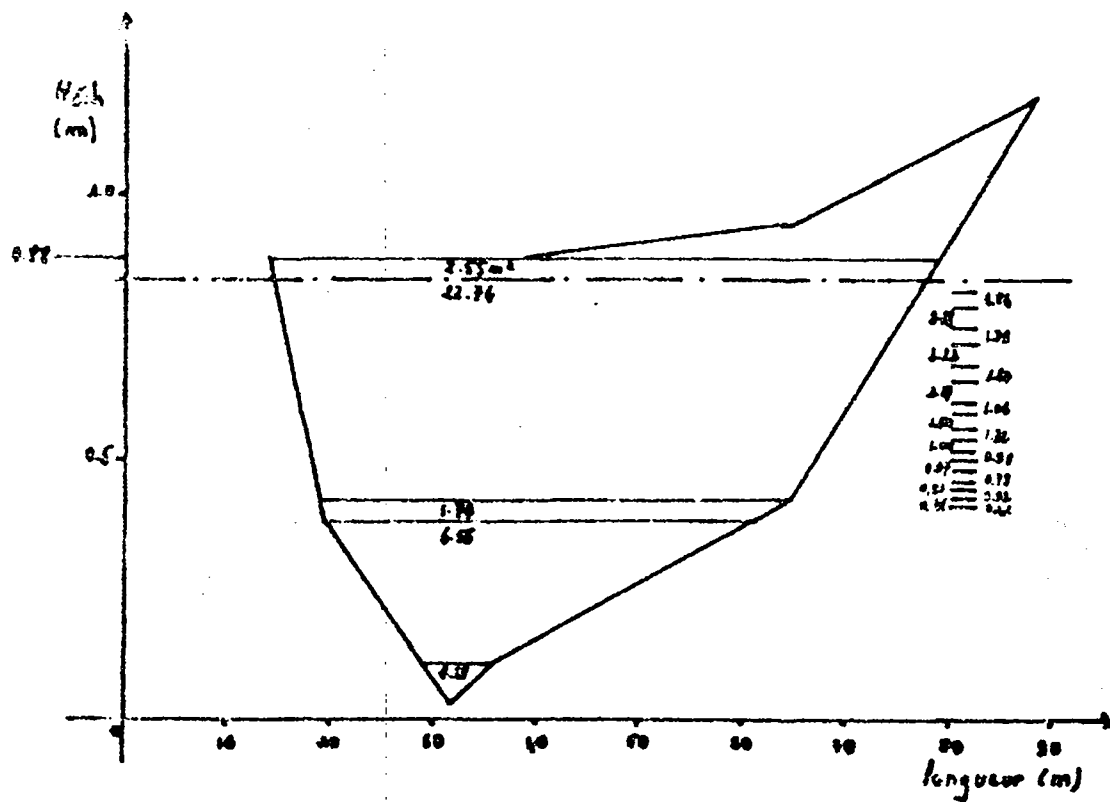


Sankondé-seuil : courbe hauteur-surface
 de la retenue à l'amont de la digue



Nané-seuil : Surface de filtration (A_f) en fonction de la hauteur de l'eau devant la digue

Nané-seuil : surface de filtration de la digue



A.1.6.2.

ANNEXE 1.7.

```

type a:qdevdig.bas
10 '*****
20 '      PROGRAMME DE CALCUL DES POINTS DE LA COURBE Q(h)
30 '      DU DEVERSEMENT D'UNE DIGUE FILTRANTE
40 '*****
50 '
60 DEFINT I-N
70 DIM X(15),Z(15),Q(100)
80 '-----
90 '      saisie du profil en travers
100 '-----
110 INPUT "Nombre de points du profil en travers ";N
120 PRINT "Donnez les abscisses X"
130 PRINT "      et les cotes      Z en metres"
140 FOR I= 1 TO N
150     PRINT "point no : ";I
160     INPUT "X = ";X(I)
170     INPUT "Z = ";Z(I)
180     PRINT
190 NEXT I
200 FOR I= 1 TO N
210     PRINT TAB(5);"point ";I;TAB(20);"X = ";X(I);TAB(40);"Z = ";Z(I)
220 NEXT I
230 INPUT "coefficient de dbit de la digue : ";XM
240 INPUT "est ce correct (O/N) ";R$
250 IF R$<>"O" AND R$<>"n" THEN 110
260 INPUT "cote de dversement : ";Z0
270 '-----
280 '      calcul des abscisses de contact avec les berges
290 '-----
300 I=1
310 I=I+1
320     IF Z(I)=Z0 THEN XD=X(I)
330     IF Z(I)>Z0 THEN 310
340     XD=X(I-1)+(X(I)-X(I-1))*(Z(I-1)-Z0)/(Z(I-1)-Z(I))
350 I=I+1
360     IF Z(I)=Z0 THEN XF=X(I)
370     IF Z(I)<Z0 THEN 350
380     XF=X(I)-(X(I)-X(I-1))*(Z(I)-Z0)/(Z(I)-Z(I-1))
390 PRINT "XD = ";XD;PRINT "XF = ";XF
400 '-----
410 '      calcul du dbit pour la cote Z0
420 '-----
430 XL=XF-XD;JL=INT(XL);R=XL-JL;IF R=0 THEN JN=JL ELSE JN=JL+1
440 XX=XD+.5;DL=1
450 QT=0
460 FOR J=1 TO JN
470     FOR I=1 TO N
480         IF XX<X(I) THEN Z2=Z(I);X2=X(I);Z1=Z(I-1);X1=X(I-1);GOTO 500
490     NEXT I
500     ZZ=Z1-(Z1-Z2)*(XX-X1)/(X2-X1)
510     Q(J)=DL*XM*4.429*(Z0-ZZ)^1.5
520     QT=QT+Q(J)
530     XX=XX+1
540     IF J=JL THEN XX=XX-1+R/2;DL=R
550 NEXT J
560 PRINT "dbit pour la cote z0 = ";Z0;" Q = ";QT
570 INPUT "Voulez vous une autre cote (O/N) ";R$
580 IF R$="O" OR R$="n" THEN 260
590 END

```

ANNEXE 2 :

ANNEXE 2.1 : Pluies et hauteurs d'eau dans les retenues : exemples

ANNEXE 2.2 : Détermination des courbes hauteur-volume des retenues

ANNEXE 2.3 : Calcul du coefficient de ruissellement des pluies sur les bassins versants des digues filtrantes de Sankondé et Nané

ANNEXE 2.4 : Exemples d'analyse de l'intensité de la pluie pour deux épisodes pluvieux sur les bassins versants de la digue filtrante de Sankondé

Birou

pluie	première	deuxième	troisième	quatrième				
date de la pluie	le 28-7-86	" " "	le 31-7-86	le 7-8-86				
temps de début	2h 00	6h 30	8h 00	10h 10				
temps de fin	4h 37	7h 52	9h 35	12h 00				
pluviomètres (barrage)	14	26	18	34				
pluviomètre 2 (en haut)	14,5	26	14	30				
échelle :	temp	hauteur	temp	hauteur	temp	hauteur	temp	hauteur
1				54cm	6h00	69cm	1h20	100cm
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Birou

pluie	cinquième	sixième	septième	huitième				
date de la pluie	le 10-8-86	le 13-8-86	le 14-8-86	le 17-8-86				
temps de début	12h 50	16h 55	13h 55	18h 12				
temps de fin	19h 35	19h 50	14h	19h 34				
pluviomètres (barrage)	9	15	6	7				
pluviomètre 2 (en haut)	9	5	7	8				
échelle	temp	hauteur	temp	hauteur	temp	hauteur	temp	hauteur
1	6.20	100	13h55	90	6h.00	90	7h.00	96
2			6h10	30	14h00	90	6h12	94
3			15h24	88	7h.00	90	8h.00	90
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

ANNEXE 2.1: PLUIES ET HAUTEURS D'EAU DANS LES RETENUES; EXEMPLES

Birou

pluie	9 ^{ème}	10 ^{ème}	11 ^{ème}	12 ^{ème}
date de la pluie	le 19-8-86	le 22-8-86	le 26-8-86	le 31-8-86
temps de début	10h 59	6h 46	8h 20	10h 10
temps de fin	11h 25	11h 10	9h 16	13h 00
pluies mètres (barrage)	20	31	16	12,5
pluies mètres (en haut)	23	31	16	13
échelle	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur
2	11.30 100	7.10 110	10.40 120	12.20 122
3	12.10 114	7.40 117	8.58 125	11.10 122
4	12.00 106	8.10 119	9.01 127	11.40 123
5	6.22 106	8.40 123	9.31 129	12.10 123
6		9.10 125	10.01 129	12.40 124
7		8.40 126	13.00 124	
8		12.16 128		
9		13.27 125	16.10 127	18.03 122
10		17.07 123	15.30 135	17.50
11		17.00 120	16.00 122	
			17.08 120	
			15.30 120	

Birou

pluie	13 ^{ème}	14 ^{ème}	15 ^{ème}	16 ^{ème}
date de la pluie	le 2-9-86	le 2-9-86	le 5-9-86	le 5-9-86
temps de début	10h 00	12h 22	3h 33	9h 40
temps de fin	10h 34	13h 30	3h 52	11h 10
pluies mètres (barrage)	36	20	13	37
pluies mètres (en haut)	36	21	13	37
échelle	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur
	10.30 145	12.52 180	6h.30 190	10.10 192
	11.00 170	13.22 130		10.40 182
	11.30 173	13.52 132		11.10 224
				220
		17.15 187		17.30 214
		16.30 180		17.10 210
				16.30 210
				16.00 208
				16.32 208
				17.00 201
				15.30 199
				13.10 196
				13.11 194

A.2.1.2

Tempore

pluie	premiere	deuxieme	troisieme	quatrieme
date de la pluie	31-07-86	02-08-86	02-08-86	10-08-86
temps de debut	22h	17h 15	18h 04	17h 18
temps de fin	22h 30mn	17h 22mn	18h 48mn	19h 20mn
pluiesmetres (barrage)	20mn	7mn	30mn	12mn
pluiesmetres (en haut)	13mn	7mn	35mn	12mn
échelle	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur
1	16	22	45	53
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

Tempore

pluie	cinquieme	sixieme	septieme	huitieme				
date de la pluie	12-08-86	14-08-86	19-07-86	22-08-86				
temps de debut	17h 04	13h 04	11h 05	6h 54				
temps de fin	18h 37	14h 58	11h 30	10h 45				
pluiesmetres (barrage)	30mn	13mn	12mn	30mn				
pluiesmetres (en haut)	30mn	13mn	12mn	35mn				
échelle	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur				
1	17h 34	53	13h 34	73	11h 05	72	7h 28	82
2	18h 04	67	14h 04	80	11h 35	78	7h 58	88
3	18h 34	75	14h 34	87	12h 05	83	8h 28	93
4	19h 04	82	15h 04	90	12h 35	88	8h 58	98
5	19h 34	93	15h 34	93	13h 05	90	9h 28	102
6	20h 04	93	15h 04	93	13h 35	96	9h 58	118
7	17h 32	86	17h 30	83	14h 05	96	10h 28	125
8	17h 30	82	17h 28	82	17h 38	94	10h 28	125
9	16h 28	75	16h 37	73	17h 30	88	17h 30	122
10					16h 20	82	17h 30	118
11								
12								

A.2.1.4.

Tempore

pluie	Neulème	Deuxième	Troisième	Quatrième
date de pluie	26-08-76	27-08-76	31-08-76	02-09-76
temps de début	8H 15	2H 24	12H 28	9H 47
temps de fin	10H 20	2H 42	12H 56	13H 22
pluie à 1 (barrage)	20 mn	12 mn	27 mn	55 mn
pluie à 2 (en haut)	20 mn	12 mn	27 mn	60 mn
Echelle	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur
1	8H 45 110	7H 02 140	12H 58 135	10H 15 128
2	8H 45 112	7H 38 140	13H 22 139	10H 46 139
3	8H 45 123	7H 22 125	13H 52 139	11H 12 145
4	10H 15 123		17H 27 132	11H 48 157
5	10H 45 132		17H 35 129	12H 18 175
6	11H 15 137			12H 48 182
7	11H 45 137			13H 11 192
8	17H 27 135			13H 42 195
9	17H 45 124			14H 12 195
10	17H 23 120			17H 30 187
11	17H 37 115			
12				

Tempore

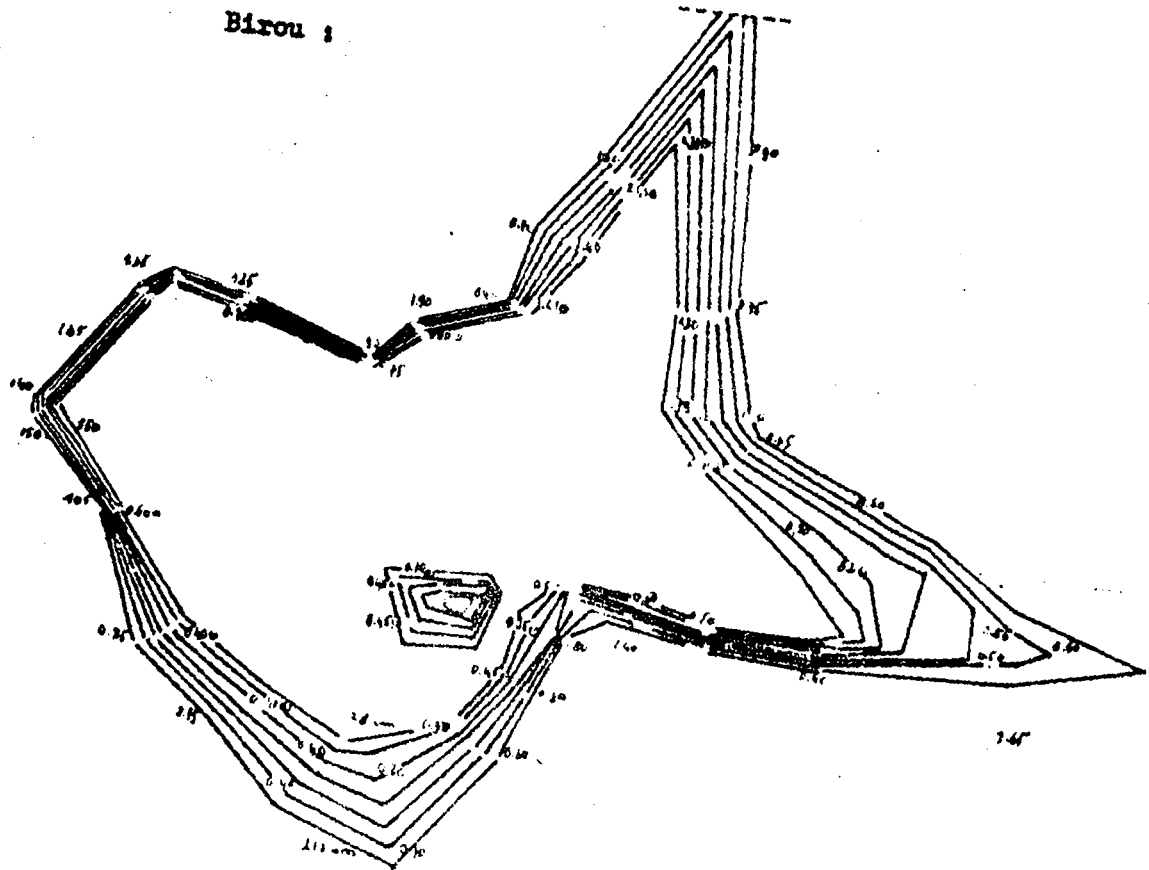
pluie	Troisième	quatrième	pluie à 1	Deuxième
date pluie	05-09-76	07-09-76	14-09-76	18-09-76
temps de début	9H 42	2H 22	2H 17	12H 37
temps de fin	11H 48	22H 56	22H 07	19H 15
pluie à 1 (barrage)	32 mn	21 mn	8 mn	9 mn
pluie à 2 (en haut)	32 mn	18 mn	8 mn	7 mn
Echelle	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur	temps hauteur
1	8H 12 170	CH 30 225	CH 20 209	7H 40 217
2	10H 42 192	7H 00 225	CH 50 209	8H 22 217
3	11H 12 198	7H 42 219	17H 30 205	17H 30 210
4	11H 42 205	16H 28 212	17H 34 202	
5	12H 12 210	17H 37 210	17H 37 200	
6	12H 42 210	17H 30 208		27-9 165
7	17H 42 205	17H 00 204		
8	17H 30 187			
9	16H 29 193			
10				
11				
12				

A.2.115.

ANNEXE 2.2. : Détermination des courbes
hauteur-volume des retenues

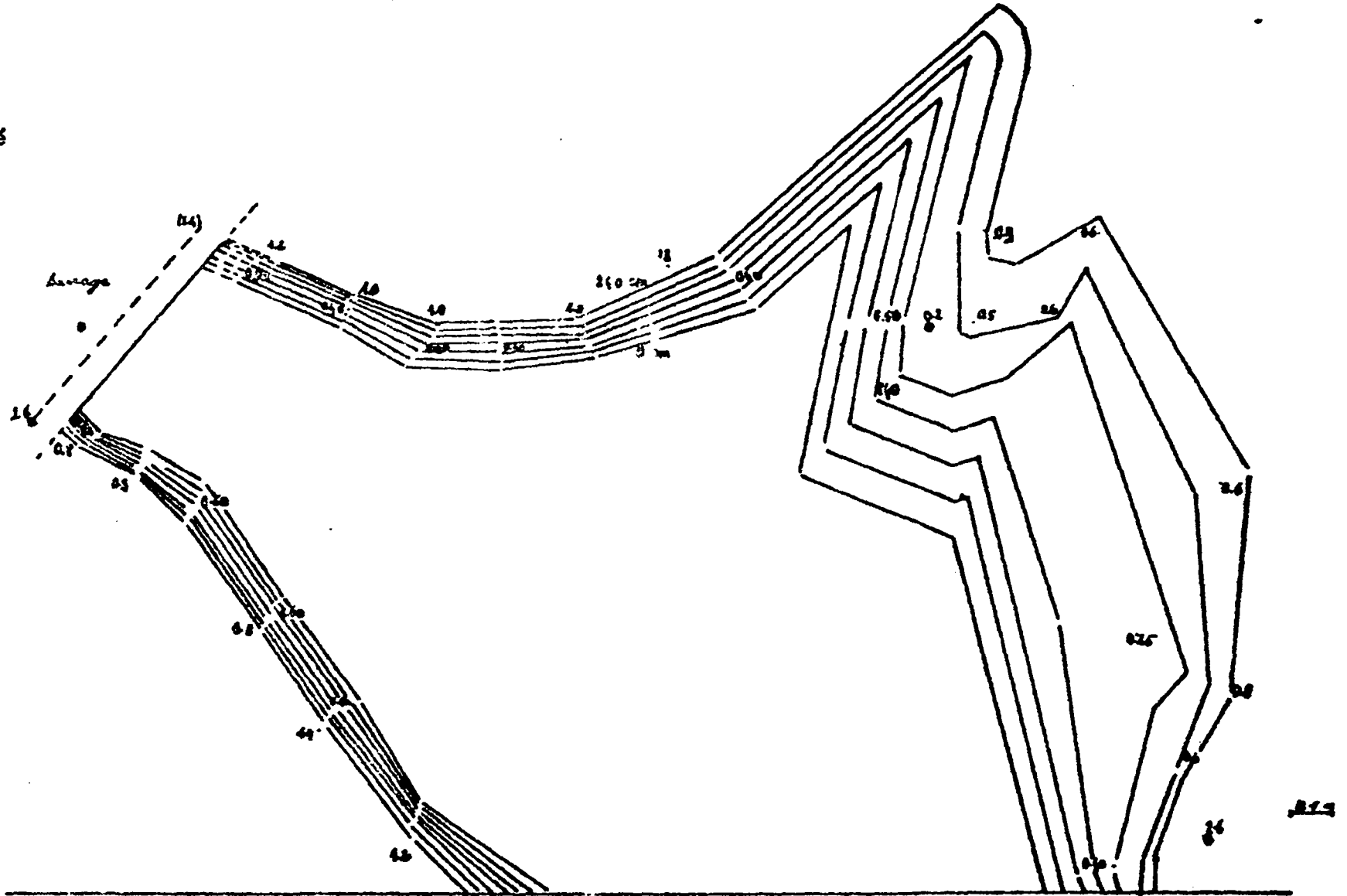
A.2.2.1.

Birou :



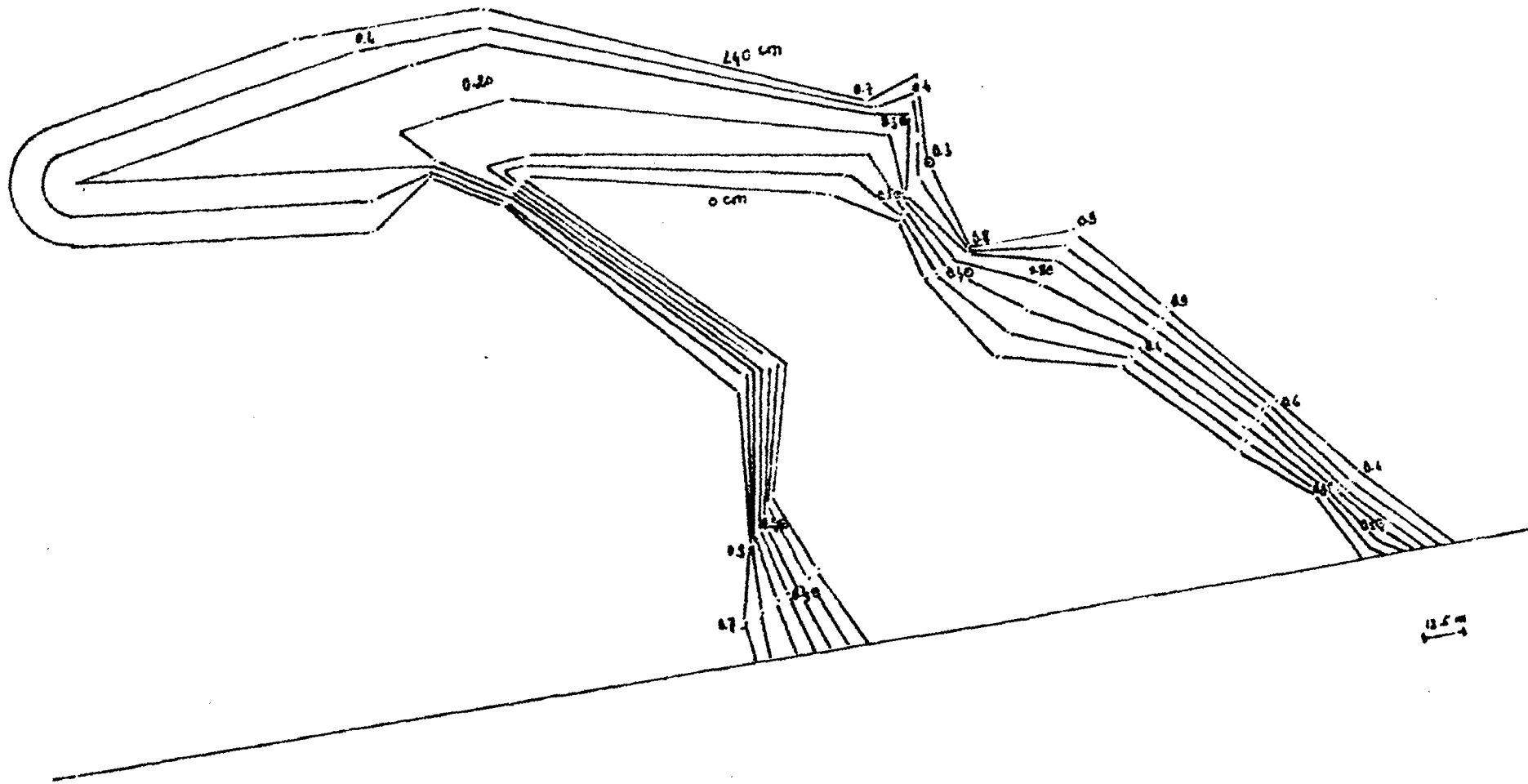
50 m.

Temporé



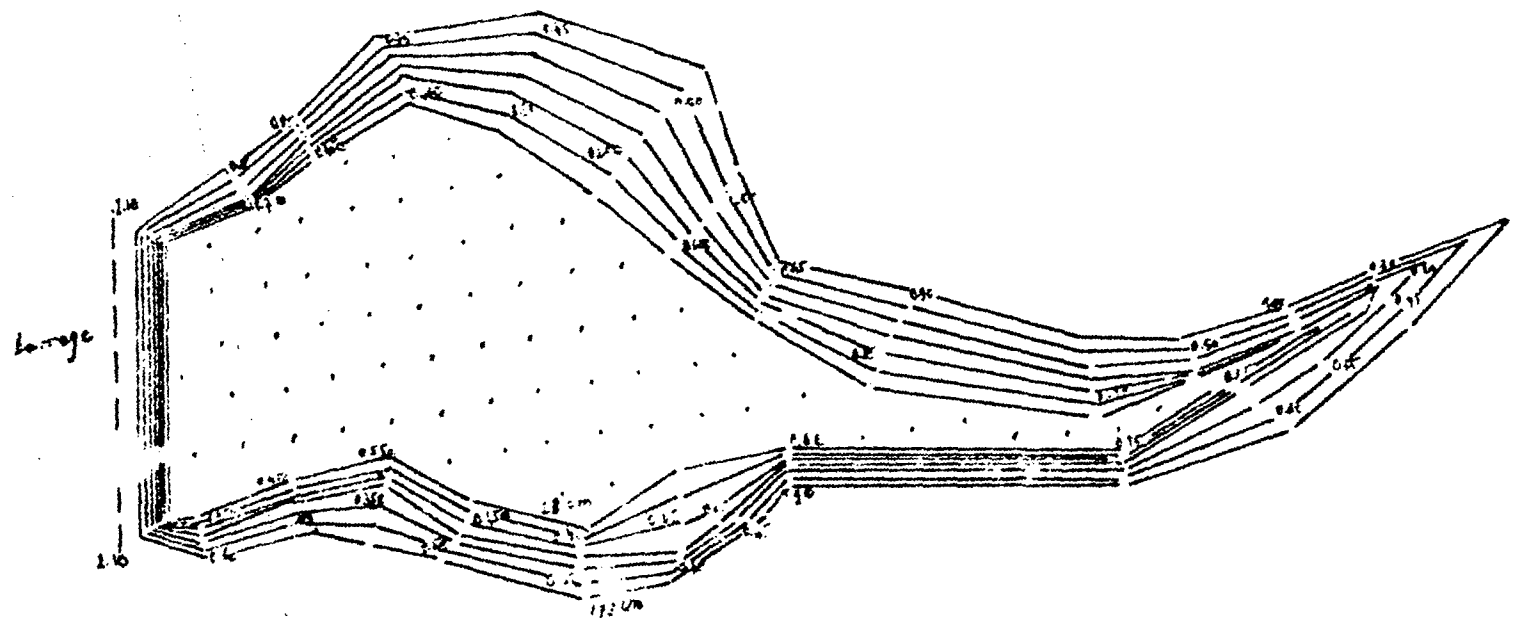
A.2.2.2.

Temporé (suite)



A.2.2.3

Yougouindé



A.2.2.4.

5m

Bikou

H_{ech} ^{1/} (cm)	A ^{2/} (m ²)	ΔV ^{3/} (m ³)	V ^{3/} (m ³)
218	13550	3888	18798
188	12369	3567	14910
158	11409	3268	11343
128	10376	2965	8075
98	9394	2683	5110
68	8491	2427	2427
38	7686		0

Temporé

H_{ech} (cm)	A (m ²)	ΔV (m ³)	V (m ³)
240	93295	36570	163203
200	84553	32029	127633
160	75594	28036	95604
120	64586	24571	67568
80	58271	22399	42997
40	53722	20598	20598
0	49269		0

Youguini

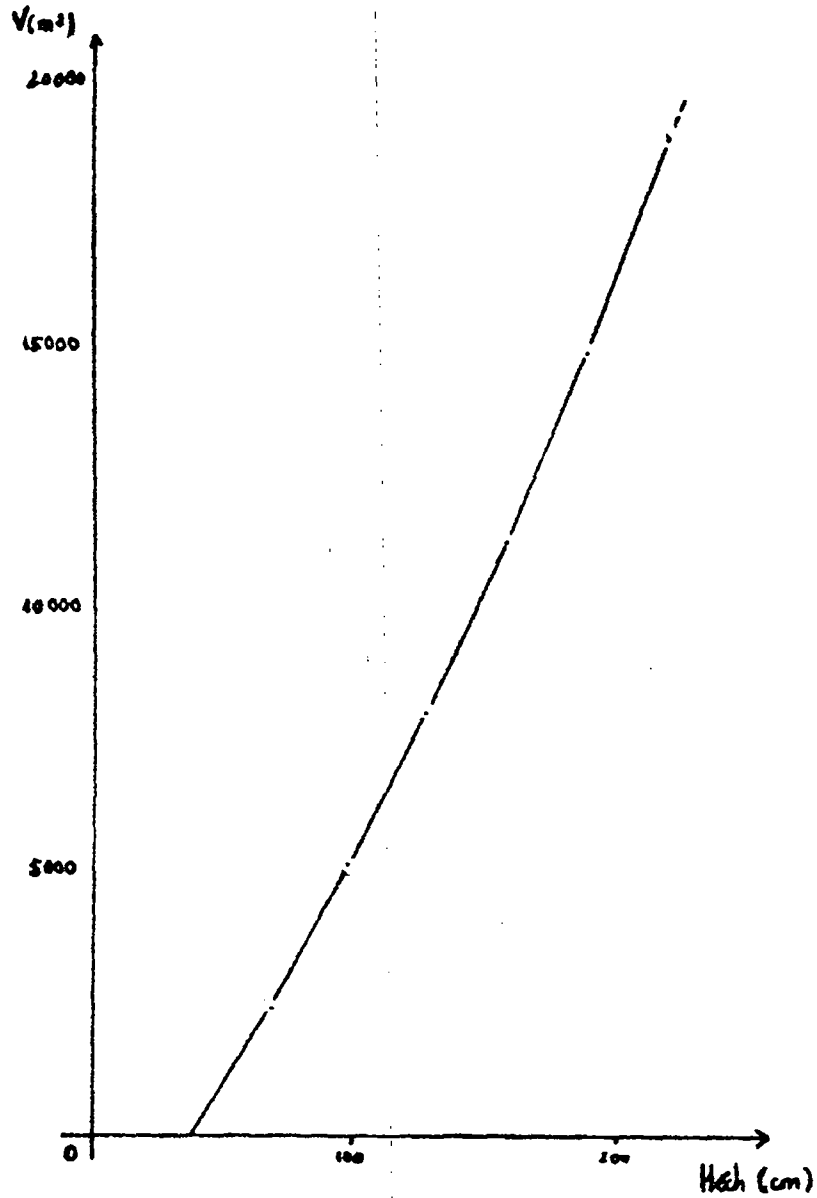
H_{ech} (cm)	A (m ²)	ΔV (m ³)	V (m ³)
173	3687	1049	4158
143	3305	939	3109
113	2953	834	2170
83	2605	496	1336
63	2354	445	840
43	2101	395	395
23	1847	0	0

1/ H_{ech} : hauteur de l'eau en amont du barrage indiquée par l'échelle

2/ A : surface de l'eau correspondante

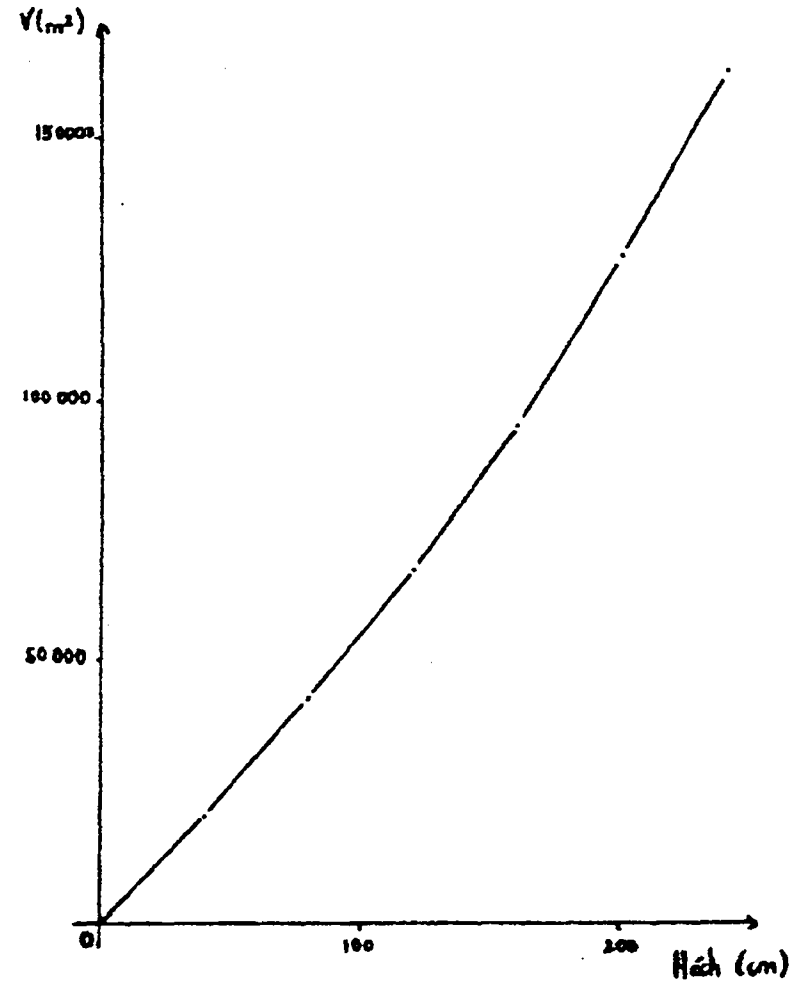
3/ (ΔV) : (augmentation du) volume d'eau correspondant

Birou : volume d'eau en amont du barrage (V)
 en fonction de la hauteur d'eau (Héch)
 Hauteur de déversement : 218 cm à l'échelle
 Volume maximum de la retenue : 18.800 m³



Temporé : volume d'eau en amont du barrage (V)
 en fonction de la hauteur d'eau Héch

Hauteur de déversement : 240 cm
 à l'échelle
 Volume maximum de la retenue
 163 200 m³

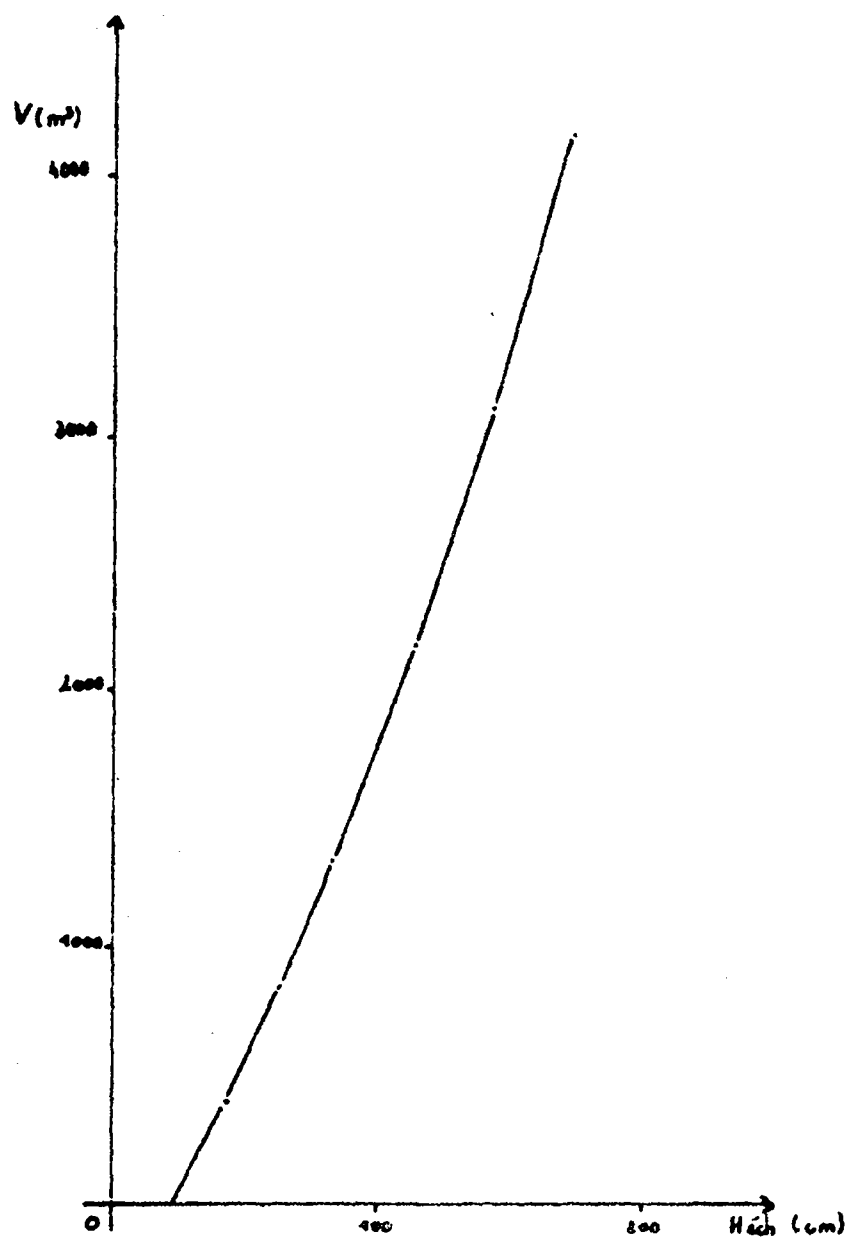


A.2.2.7.

Yougounini : volume d'eau en amont du barrage (V)
en fonction de la hauteur d'eau (Héch)

Hauteur de déversement : 173 cm

Volume maximum de la retenue : 4158 m³



A.2.3.

ANNEXE 2.3 : CALCUL DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT DES PLUIES SUR LES BASSINS DE DIGUES FILTRANTES DE :

SANKONDE : surface du bassin versant:1614200 m²

PLUIE DU 19/8 : 23 mm (69mm/h)

Hech (Hec cor) (cm)	t (mn)	V	Qt (m ³ /s)	Vt (m ³)
0-----39				
39-----134.5		+V1	1.5	1440
39-----140	16			
134.5----142		+V2	3.7	440
(140)----(148)	2			
142-----150		+V3	5.0	2100
(148)----(156)	7			
150-----142		-V3	5.0	4500
(156)----(148)	15			
142-----134.5		-V2	3.7	1332
(148)----(140)	6			
134.5----120				1872
(140)----(125)	12	-V1	2.6	
125-----0				1660

				13344

Vt = 13344 m³ Vp = 37127 m³ Cru = 0.49

SANKONDE

PLUIE DU 5/9 (1ère partie) :24.5 mm (19mm/h)

Hech (Hech cor) cm	t (mn)	Qt(m ³ /s)	Vt (m ³)
0-----39			
39-----134.5			
(140)	26	1.5	2340
134.5----144			
(140)----(150)	5	3.8	1140
144-----144			
(150)----(150)	10	4.6	2760
144-----134.5			
(150)----(140)	11	3.8	2508
134.5----120			
(140)----(125)	14	2.6	2184
(125)----0			1660

			12592

Vt = 12592 m³ Vp = 39548 m³ Cru = 0.32

*Hech=hauteur de l'eau en amont de la digue,dérivée du limnigramme
*Hech cor=correction de 4% de Hech

SANKONDE

PLUIE DU 2/9 (2è partie) : 13mm

Vt = 21 (Hech=39 cm) + 10275 (tab 2.3.2)

Vt = 10296 m³ Vp = 20985 m³ Cru = 0.

NANE : surface du bassin versant:791050 m²

PLUIE DU 5/9 (2è partie) : 20 mm (8mm/h)

Vt = 135 (Hech=41cm-30cm) + 4625

Vt = 4760 m³ Vp= 15821 m³ Cru = 0.30

SANKONDE

PLUIE DU 5/9 (2è partie) : 31.5 mm (9mm/h)

Hech observée (cm)	t (mn)	Qt (m ³ /s)	Vt (m ³)
0-----39			
39-----140	33	1.5	2970
140-----148	2	3.7	444
148-----156	5	4.9	1470
156-----160.75	6	5.75	2070
160.75---160.75	5	6.1	1830
160.75---156	9	5.75	3105
156-----148	11	4.9	3234
148-----140	9	3.7	1998
140-----125	14	2.6	2184
125-----0			1660

			20965

Vt = 20965 m³ Vp = 50847 m³ Cru= 0.41

ANNEXE 2.4. : EXEMPLE D'ANALYSE DE L'INTENSITE DE LA PLUIE

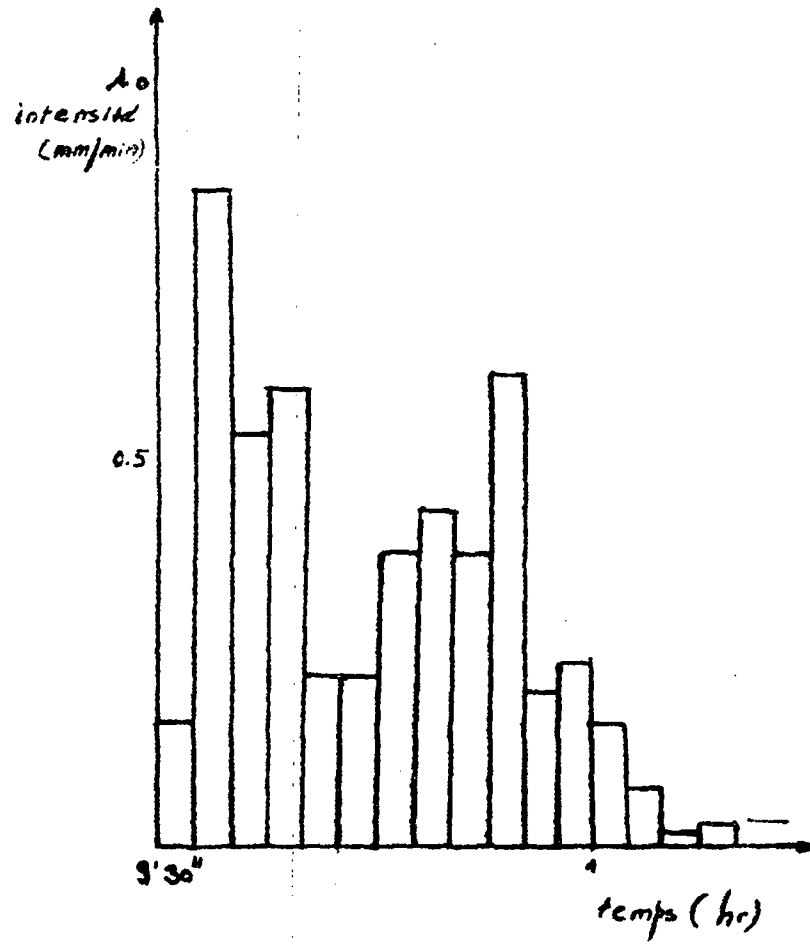
A.2.4.1.

Sankonde			
date de la pluie	21-9		
heure de debut	15h 45		
heure de fin	16h 45		
pluviometre(mm)	16.5 (15.5/17.5)		
	l'heure	pluie(mm)	intensite' (mm/min)
	15'45"	0	
	15'50"	0.2	0.04
	15'55"	0.2	0.04
	16'00"	4.0	0.67
	16'05"	8.8	1.46
	16'10"	12.6	0.56
	16'15"	14.1	0.30
	16'20"	15.1	0.20
	16'25"	15.8	0.14
	16'30"	16.0	0.04
	16'45"	16.5	0.03

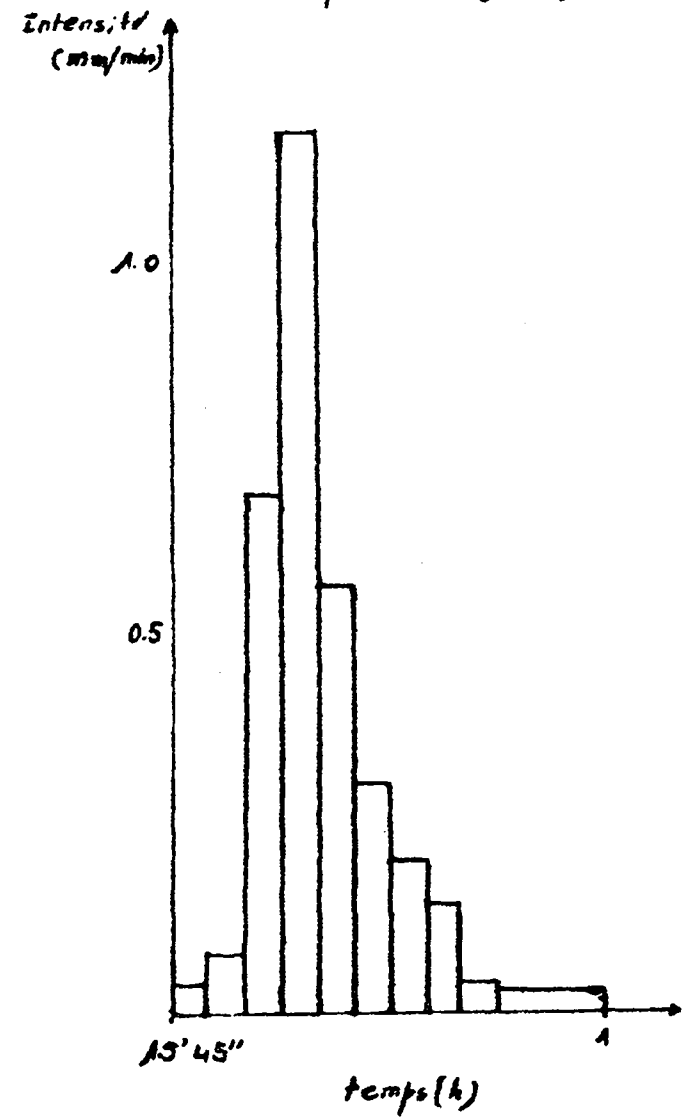
Sankonde			
date de la pluie	5-9		
heure de debut	9h 30		
heure de fin	13h 30		
pluviometre	30/33		
	l'heure	pluie(mm)	intensite' (mm/min)
	9'30"	0	
	9'35"	0.8	0.16
	9'40"	5.1	0.85
	9'45"	7.8	0.54
	9'50"	10.9	0.60
	9'55"	11.9	0.22
	10'00"	13.0	0.22
	10'05"	14.9	0.28
	10'10"	17.1	0.44
	10'15"	19.0	0.38
	10'20"	22.1	0.60
	10'25"	23.1	0.20
	10'30"	24.3	0.24
	10'35"	25.1	0.16
	10'40"	25.5	0.08
	10'45"	25.6	0.02
	11'00"	26.1	0.03
	11'10"	26.0	0.01
	13'00	30.0	0.03

San Kondé

pluie (5-9) 30 mm



pluie 21.9 16,5 mm



A.2.4.2.

ANNEXE 3 :

Infiltration et observations sur les cultures

ANNEXE 3.1 : Type de densimètre utilisé

ANNEXE 3.2 : Plan des sites

ANNEXE 3.3 : Levés topographiques de quelques sites

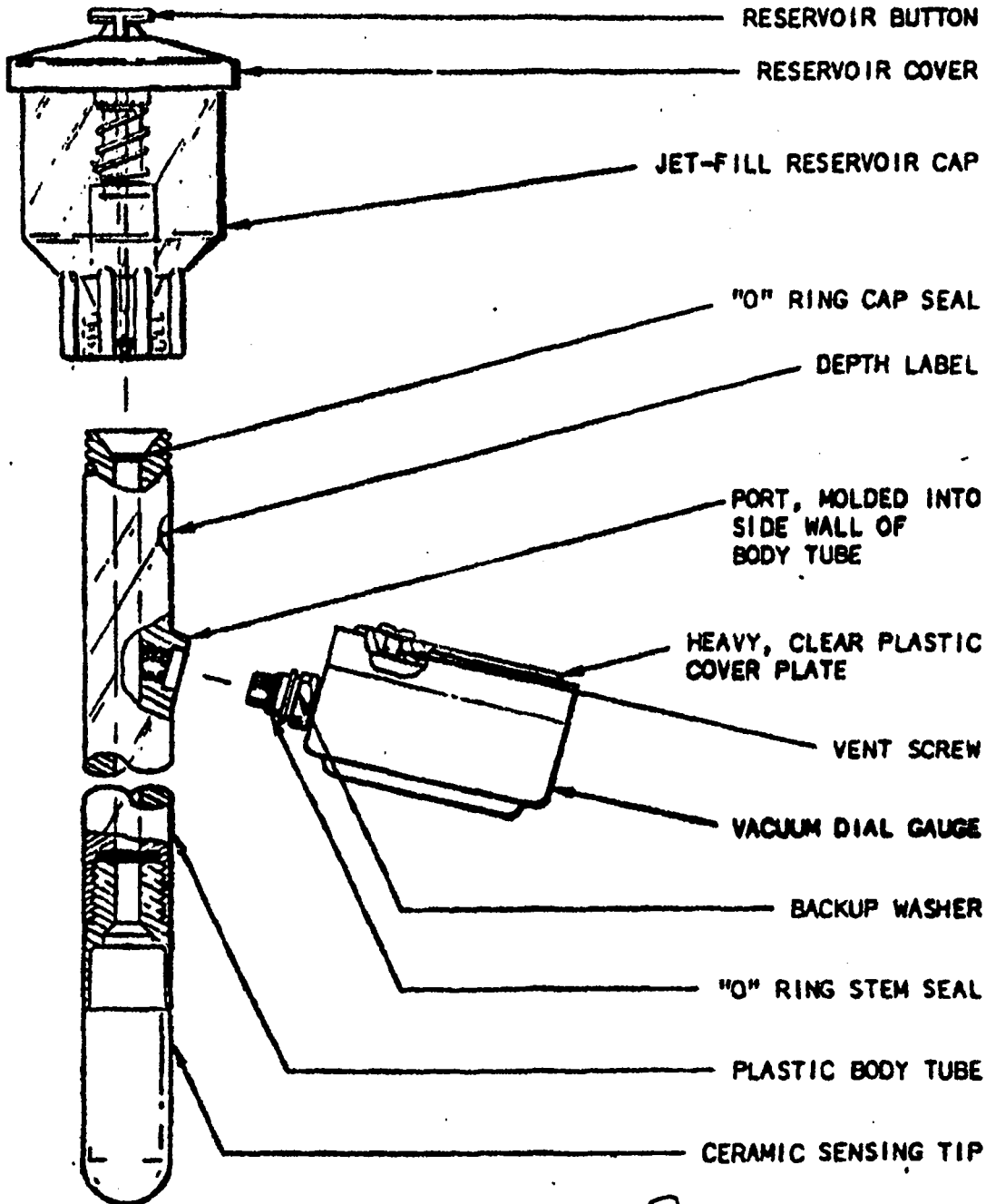
ANNEXE 3.4 : Observations sur la récolte

2725A

OPERATING INSTRUCTIONS

JET FILL TENSIONMETER

MODEL A



SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP.

P.O. Box 30025

Santa Barbara, CA 93105 U.S.A.

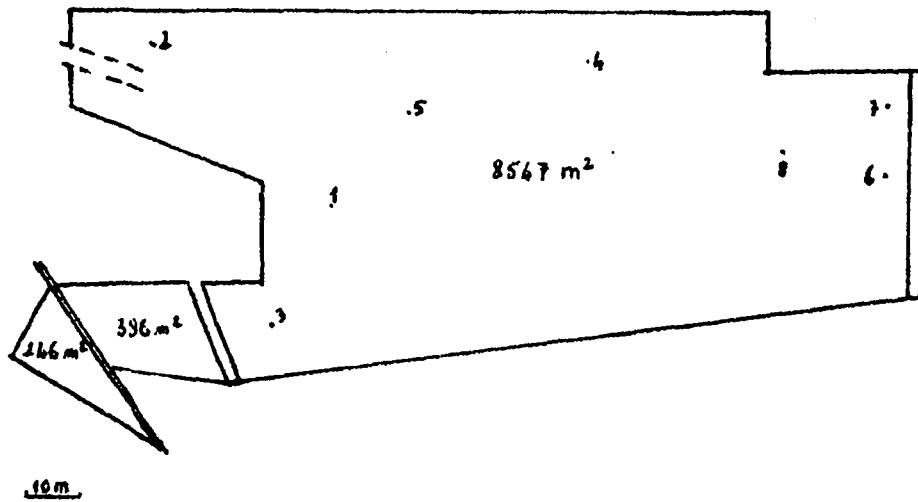
1. Push the reservoir button down, as far as it will go, several times to remove air from the reservoir pump cylinder and any accumulated air in the tensionmeter.



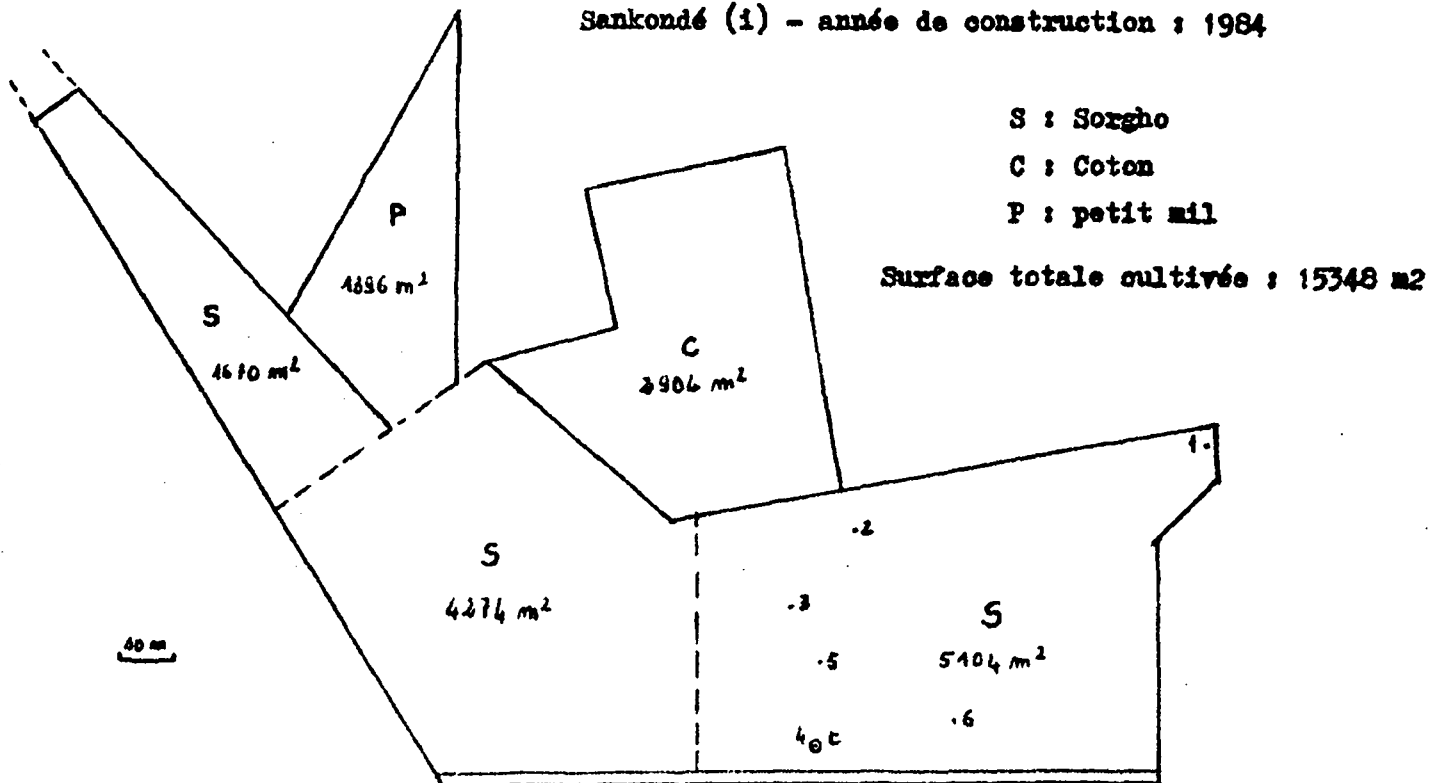
ANNEXE 3.2. : PLAN DES SITES

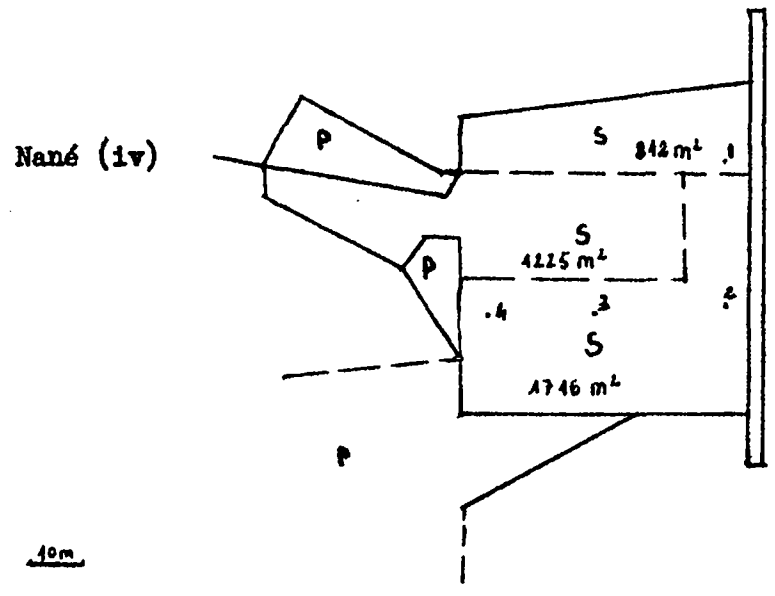
A.3.2.1.

Sankondé (1) - Année de construction : 1985

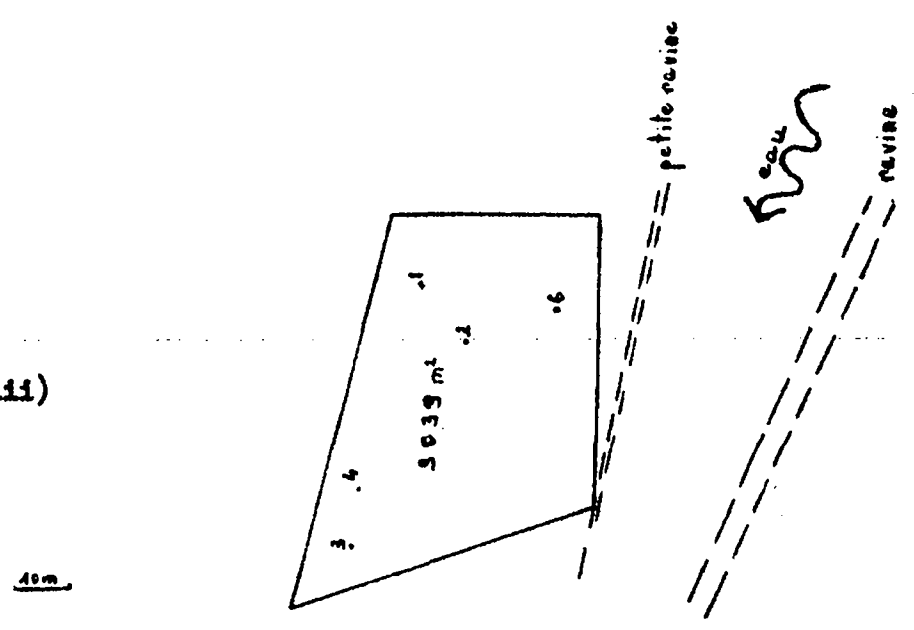


Sankondé (1) - année de construction : 1984



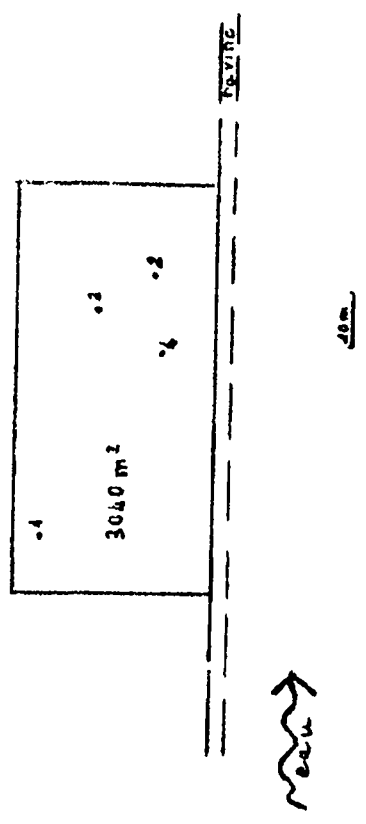


Sankondé (iii)

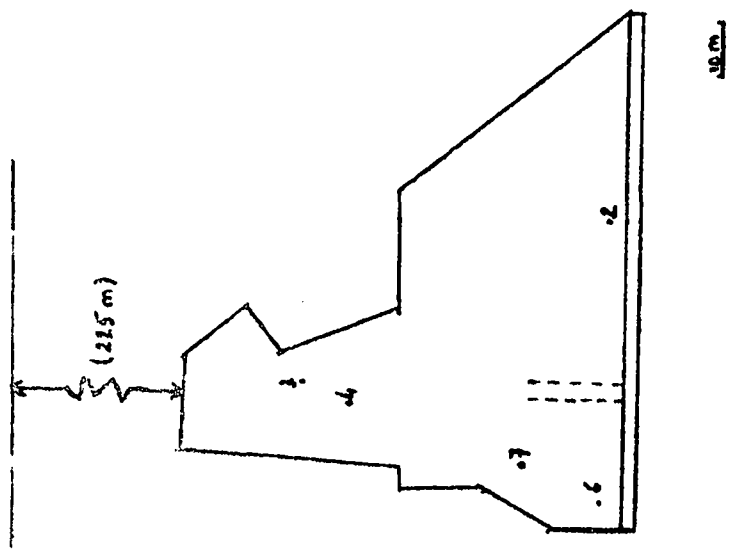


A.3.2.3.

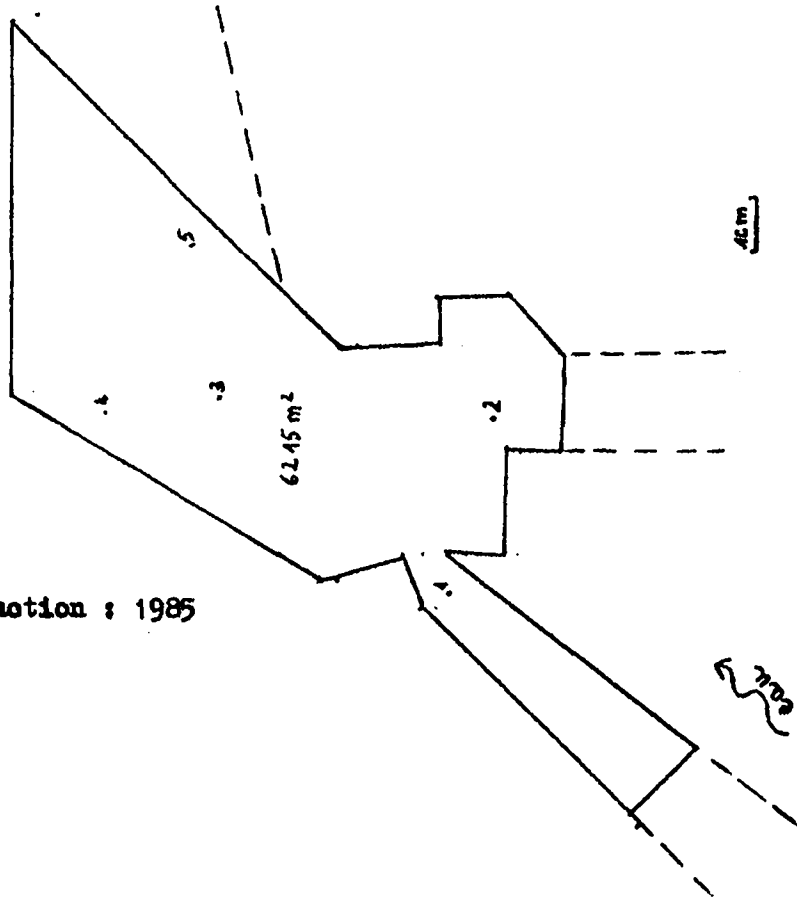
Rissian (vi)



Nané (v)



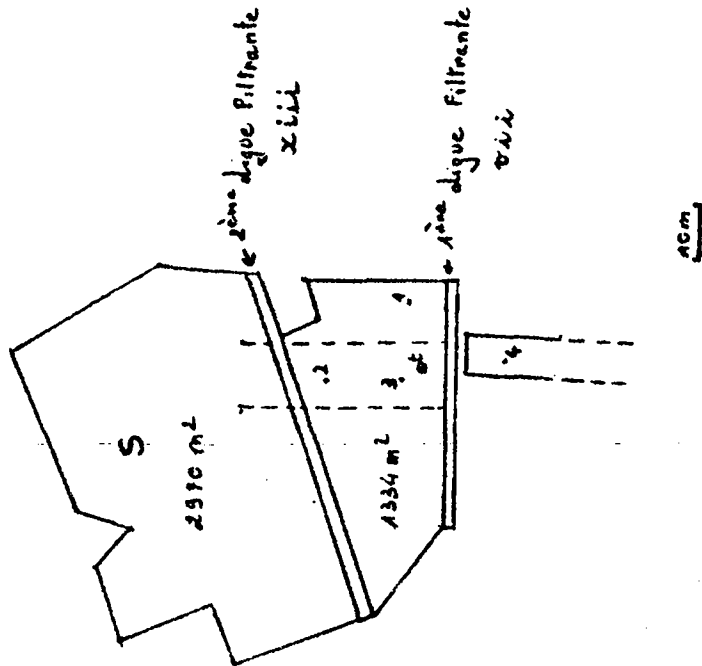
A.3.2.4.



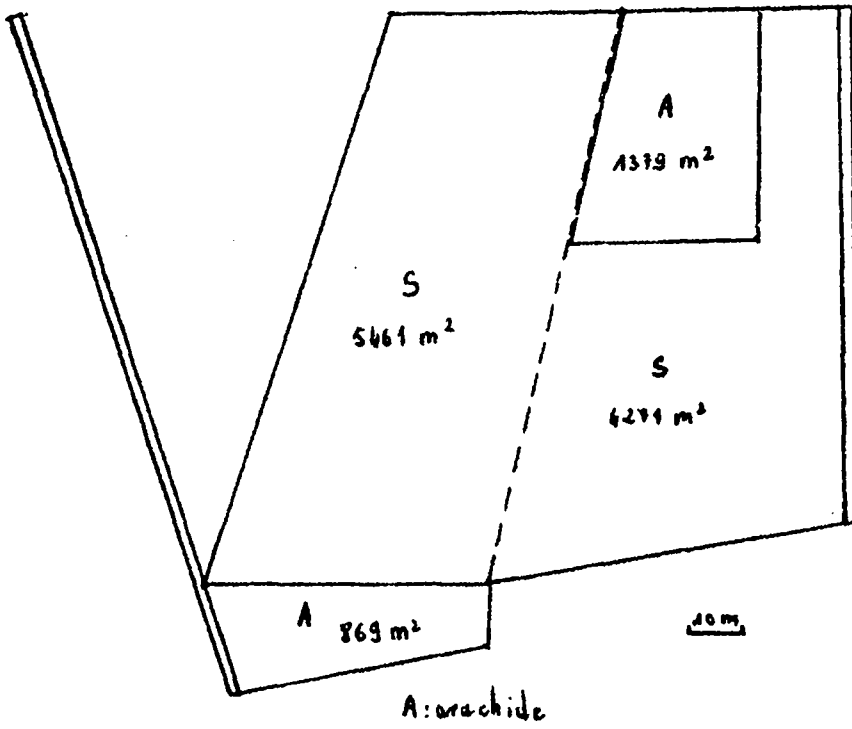
Gonsé (viii)

année de construction : 1985

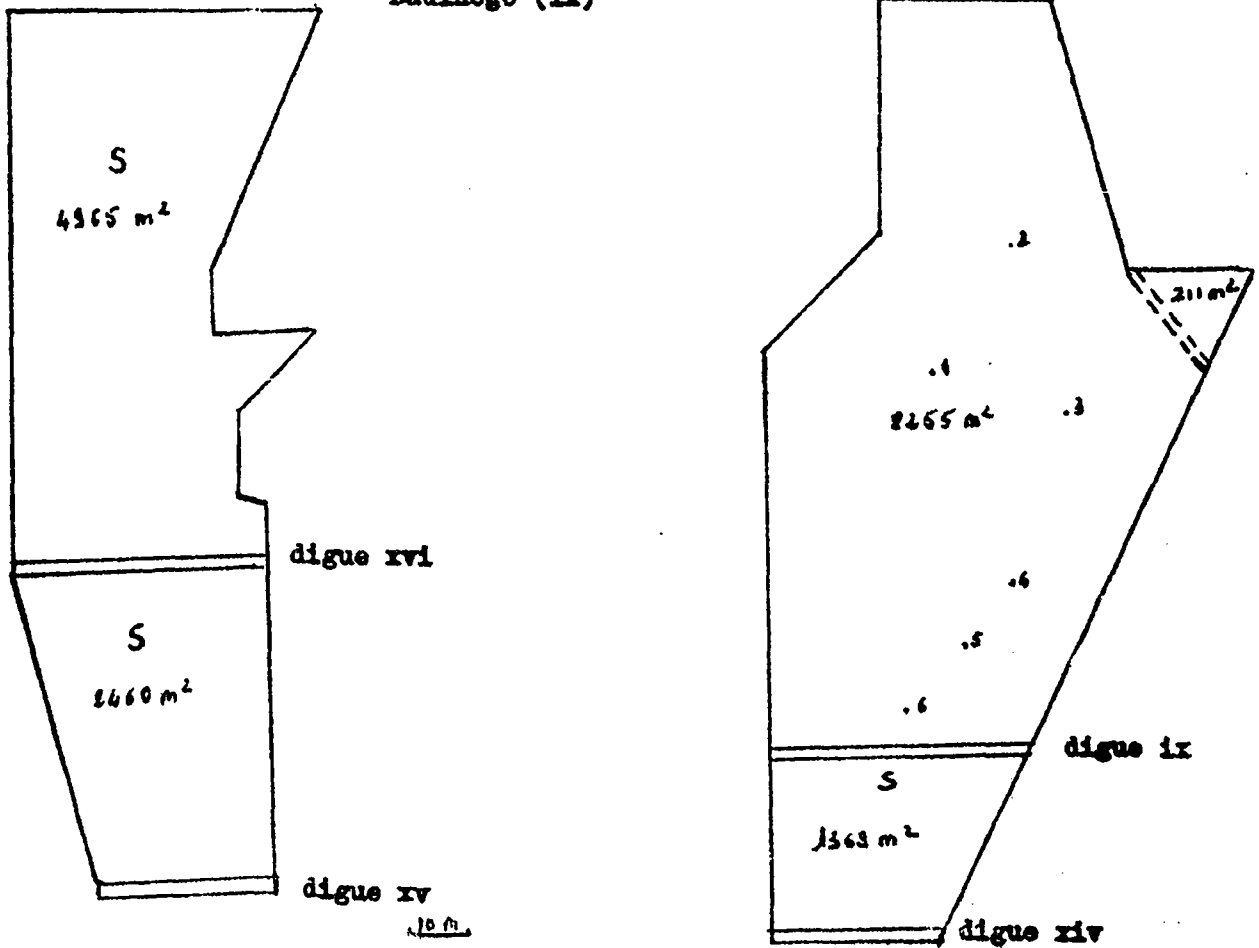
Gonsé (vii)



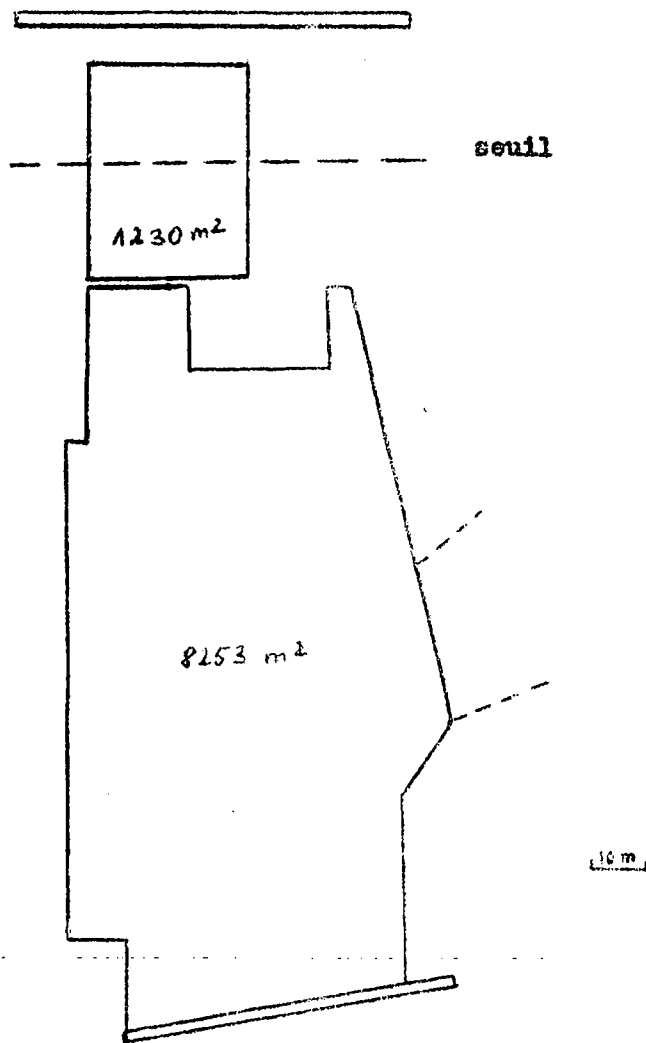
Sankendé (x)



Badinogo (ix)

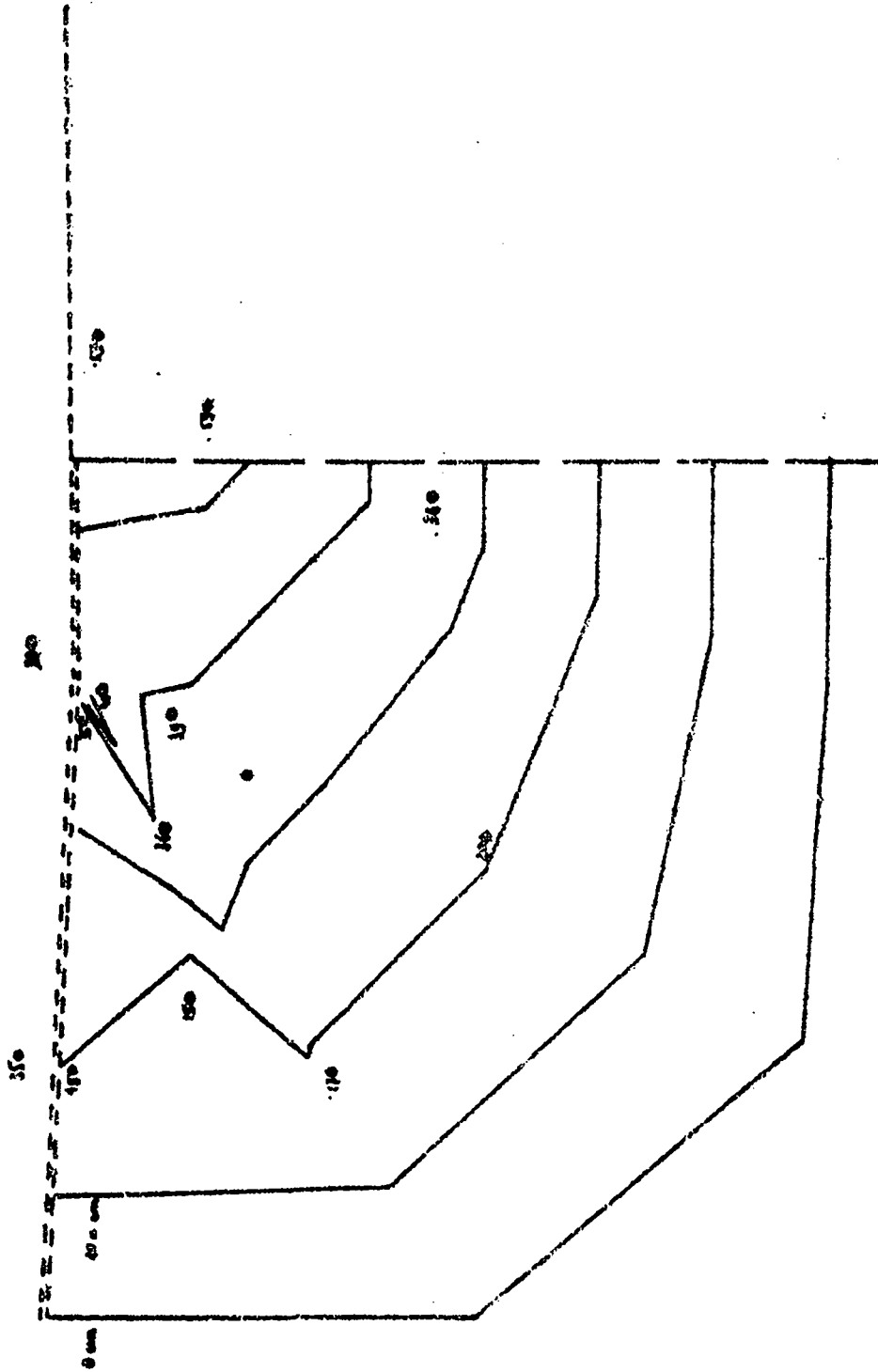


Sankondé - (xii)



ANNEXE 3.3. : LEVES TOPOGRAPHIQUES
DE QUELQUES STRES

A.3.3.1.

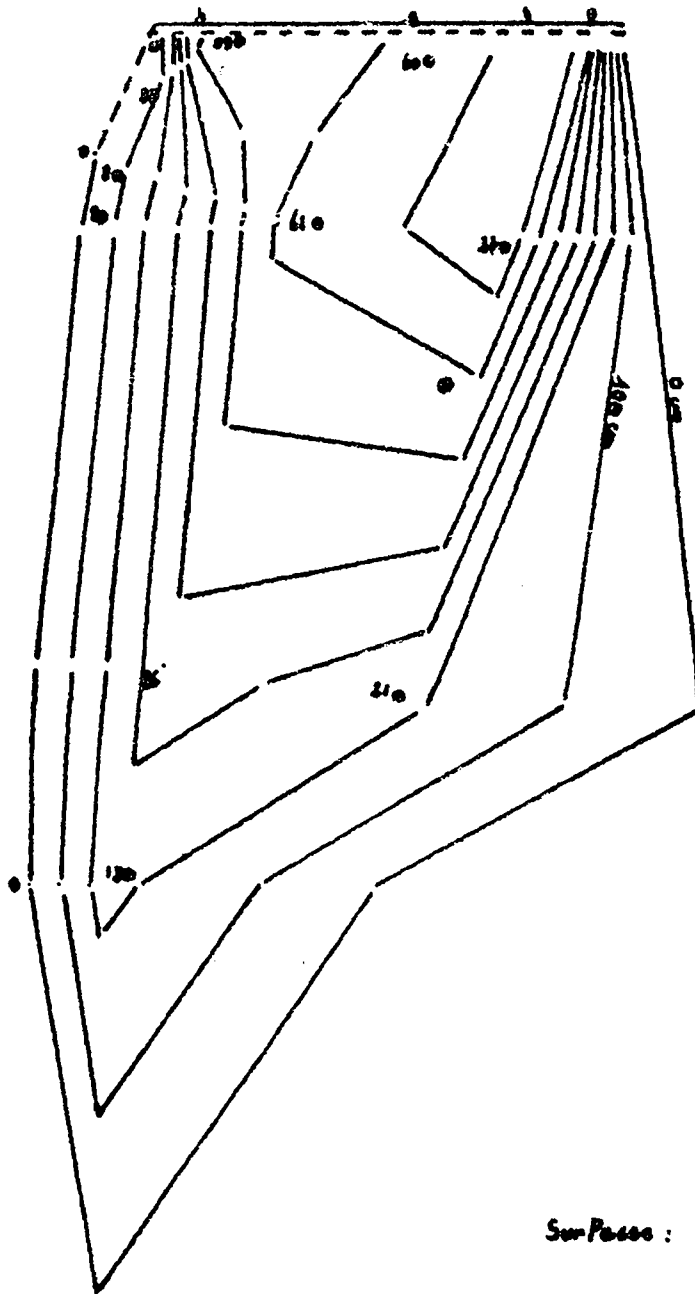


Saribondé

Surfaces: 0 m - 6244 m²
100 m - 4333 m²
200 m - 2603 m²
300 m - 1418 m²
400 m - 503 m²
500 m - 93 m²

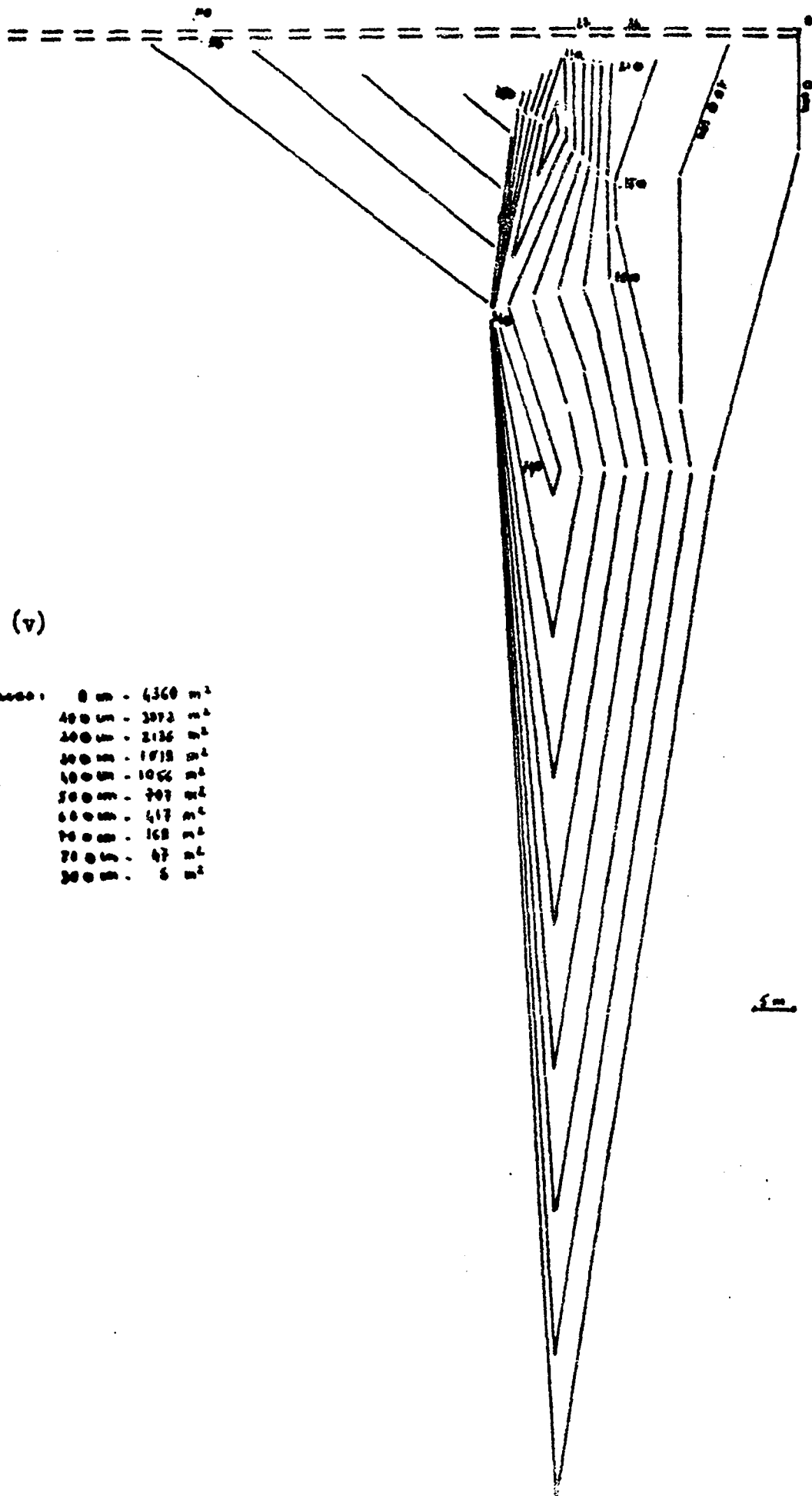
5 m

Sankondé (11)



S.M.

Sur-Passe :	0 m	5189 m ²
	40 m	3361 m ²
	20 m	2897 m ²
	30 m	2224 m ²
	40 m	1701 m ²
	50 m	1210 m ²
	60 m	662 m ²
	70 m	222 m ²



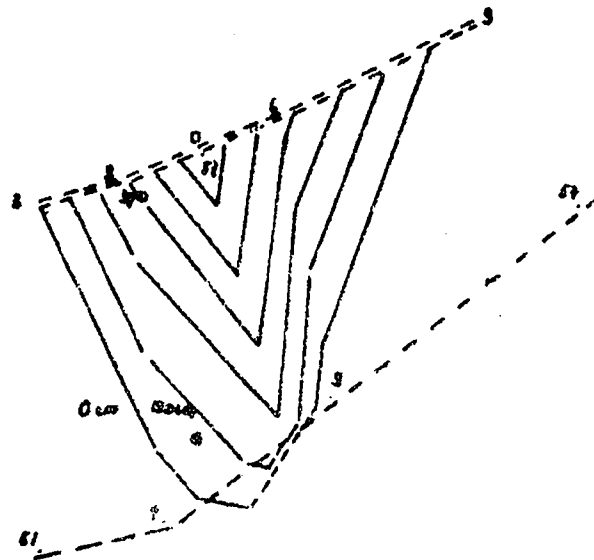
Nané (v)

Surfaces:

0 m	-	4360 m ²
40 m	-	3072 m ²
20 m	-	2126 m ²
30 m	-	1718 m ²
40 m	-	1006 m ²
50 m	-	707 m ²
60 m	-	517 m ²
70 m	-	168 m ²
70 m	-	47 m ²
80 m	-	6 m ²

1m

410



62

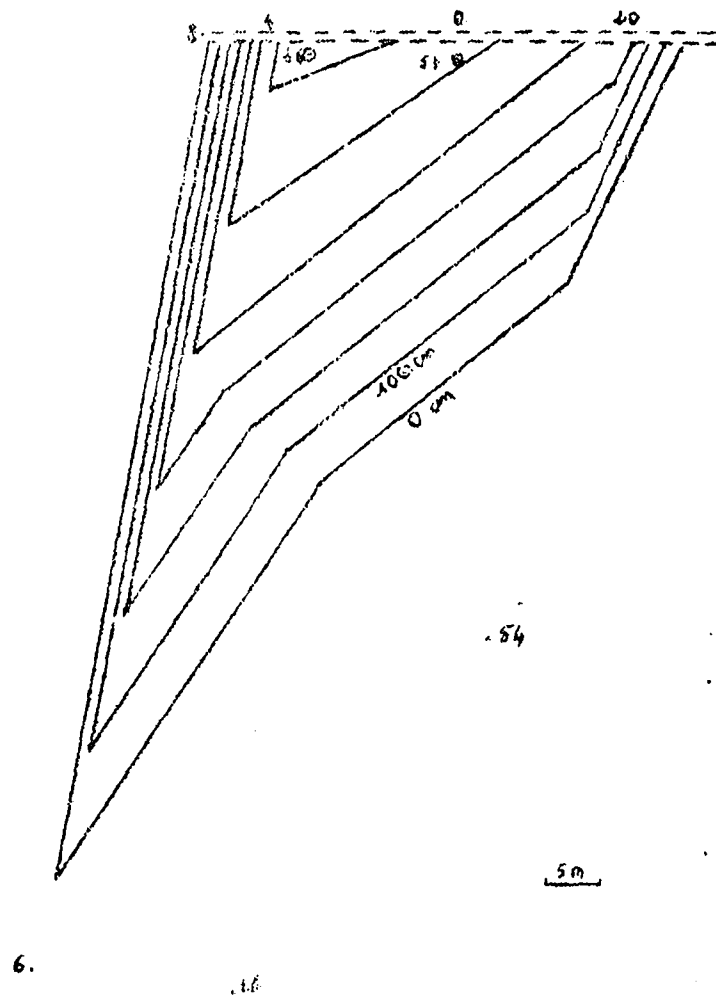
Gonsé (vii)

64

100

Surfaces	0 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	250 cm
	892 m ²	566 m ²	315 m ²	154 m ²	63 m ²	14 m ²

5m



Badinogo (ix)

**ANNEXE DE LA
TROISIEME PARTIE**

A.3.1.

A N N E X E :

Questionnaire préalable:

Dans les chapitres précédents nous avons traité de quelques problèmes que les projets de digues filtrantes rencontrent dans les villages. Dans la plupart des cas les problèmes sont dus à une connaissance insuffisante des structures villageoises et une préparation du projet qui ne tient pas toujours compte de toute la gamme d'activités villageoises. Nous avons élaboré un questionnaire préalable qui, nous l'espérons, (avec des plans des bas fonds) permettra d'améliorer la connaissance des structures villageoises et de mieux préparer les projets.

Le questionnaire est divisé en deux parties : la première concerne des données de base sur le village, la deuxième est liée à l'exécution même du travail. On trouvera aussi des questions qui peuvent servir comme points de départ pour des discussions utiles avec les villageois, et qui demandent donc plusieurs visites pour être traitées.

Questionnaire première partie :

1. Quel est le nombre de quartiers du village ?
2. Quelles sont les familles ? (voir tableau 1).

TABLEAU 1 :
=====

Nom	Effectif	Chef de famille
-----	----------	-----------------

3. Combien de jeunes hommes sont en Côte d'Ivoire ?
4. Est ce qu'ils reviennent pendant la saison de culture ?
5. Est ce qu'ils envoient de l'argent au village ?
Combien ?
6. Quelles ethnies sont représentées au village ? (voir tableau 2)
7. Quelles sont les religions au village ? (voir tableau 2)
8. Y-a-t-il une seule religion par famille ou plusieurs ?
9. Quand aura lieu le Ramadan cette année ?

A.3.2.

TABLEAU 2 :

=====

	Nom	Ethnie	Religion
10.	Qui est le chef du village ?		
11.	Y-a-t-il un chef de Terre ? Qui ?		
12.	Qui sont les CDR ?		
13.	Quand il y a un conflit sur les limites des champs, qui va le régler ?		
14.	Si la réponse est "Les CDR", est-ce qu'ils savent toujours les limites des champs (prendre en compte leur âge) ou dépendent-ils des conseils des vieux ?		
15.	Est-ce qu'il y a des El Hadjis, un imam, un marabout, un cathéchiste, etc. au village ?		
16.	Combien savent lire et écrire le français, le mooré, l'arabe ?		
17.	Est-ce qu'il y a un enregistrement de la récolte au village ?		
18.	Quels sont les groupements existant dans le village ? (Pour les questions 18-25 voir tableau 3).		
19.	Quels sont les membres de ces groupements (quartiers, hommes, femmes, jeunes etc..) ?		
20.	Qui gère les groupements ?		
21.	Quels sont les revenus des groupements (cotisations des membres, champ collectif, élevage collectif, travaux collectifs, (crépissage, fabrication de briques, récolte)) ?		
22.	De combien d'argent disposent les caisses des groupements ?		
23.	Quelles sont leurs autres activités (maraichage, reboisement, construction de foyers améliorés, font-ils de diguettes avec le niveau à eau, autres types d'aménagements) ?		
24.	Gèrent-ils une banque de céréales ? Depuis quand ? lancée à l'initiative de qui (Associations 6S, OXFAM etc) ?		
25.	Quel est le capital de la banque en mil/sorgho et en argent liquide ?		

4.3.5.

TABLEAU 3 :
=====

	Groupement X inauguré en	Groupement Y inauguré en	Groupement Z
Membres			
Président			
Vice Président			
Secrétaire			
Trésorier			
Commissaire aux comptes			
Cotisations des membres			
Champ collectif (culture)			
Elévation collective			
Travaux collectifs			
- " -			
- " -			
La caisse dispose de :			
Maraichage			
reboisement			
Foyers améliorés			
Diguettes/depuis/ formé par			
autres aménagements			
autres activités			
Banque de céréales/année			
Inaugurée par			
Dispose de...			
en mil			
en CFA de ...			

A.3.4.

26. Est-ce qu'il y a un/une PSP/maternité/dispensaire au village ?
27. Est-ce qu'il y a une école ? Construite quand ? par qui?
28. Est-ce qu'il y a un marché ? Quel jour (par rapport au marché d'un grand village que tout le monde connaisse) ?
29. Si non, où est-ce que les villageois vont au marché ?
30. Est-ce qu'on trouve de l'or autour du village ?
31. Si non où est-ce que les villageois vont chercher de l'or ?
32. Combien sont allés chercher de l'or l'année passée ?
33. Combien est ce qu'ils ont trouvé d'or ?

Questionnaire deuxième partie.

1. Quel groupe fait la demande à l'AFVP pour la construction d'une digue (groupement, quartier etc.) ?
2. Combien de membres compte-t-il ?
3. Combien de personnes sont elles disponibles pour le travail ?
4. A quel rythme travaillent-elles ?
5. De combien de charrettes disposent elles ?
6. A quelle distance du village faut-il aller chercher des cailloux ?
7. Est-ce qu'il y a d'autres villages qui vont chercher des cailloux au même endroit ?
8. Si oui, comment s'organiser pour ne pas mélanger les tas de cailloux de chacun des villages ?
9. Comment programmer le travail de la digue par rapport à :
 - la chasse de l'or ?
 - le Ramadan ?
 - Les activités maraichères
 - les activités de construction de diguettes ?
 - les autres projets ?

A.3.5.

10. De quel type de ressources le groupement dispose t-il ? (cotisations/champ collectif/travaux collectifs, etc) ?
11. Quel est le montant disponible dans la caisse actuellement ?
12. Si le montant disponible ne suffit pas pour le camion et les petits matériels, comment va-t-on se procurer le complément?
13. Comment va-t-on désigner les personnes membres du groupement de travaux ?
14. Comment va-t-on désigner le trésorier et le commissaire aux comptes ?
15. Comment va-t-on désigner les membres de "l'équipe topographie" à former à la manipulation du niveau à eau ?
16. Qui va réparer la digue si elle se casse ?
17. Qu'attend-on exactement de la digue: une amélioration du sol, de l'eau dans le puits, "un barrage" ?
18. Comment va t-on faire pour que tout le village profite de la digue ?