

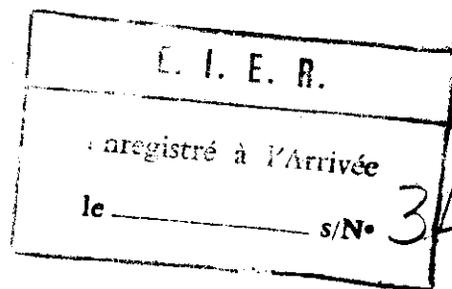
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1998

Présenté par :

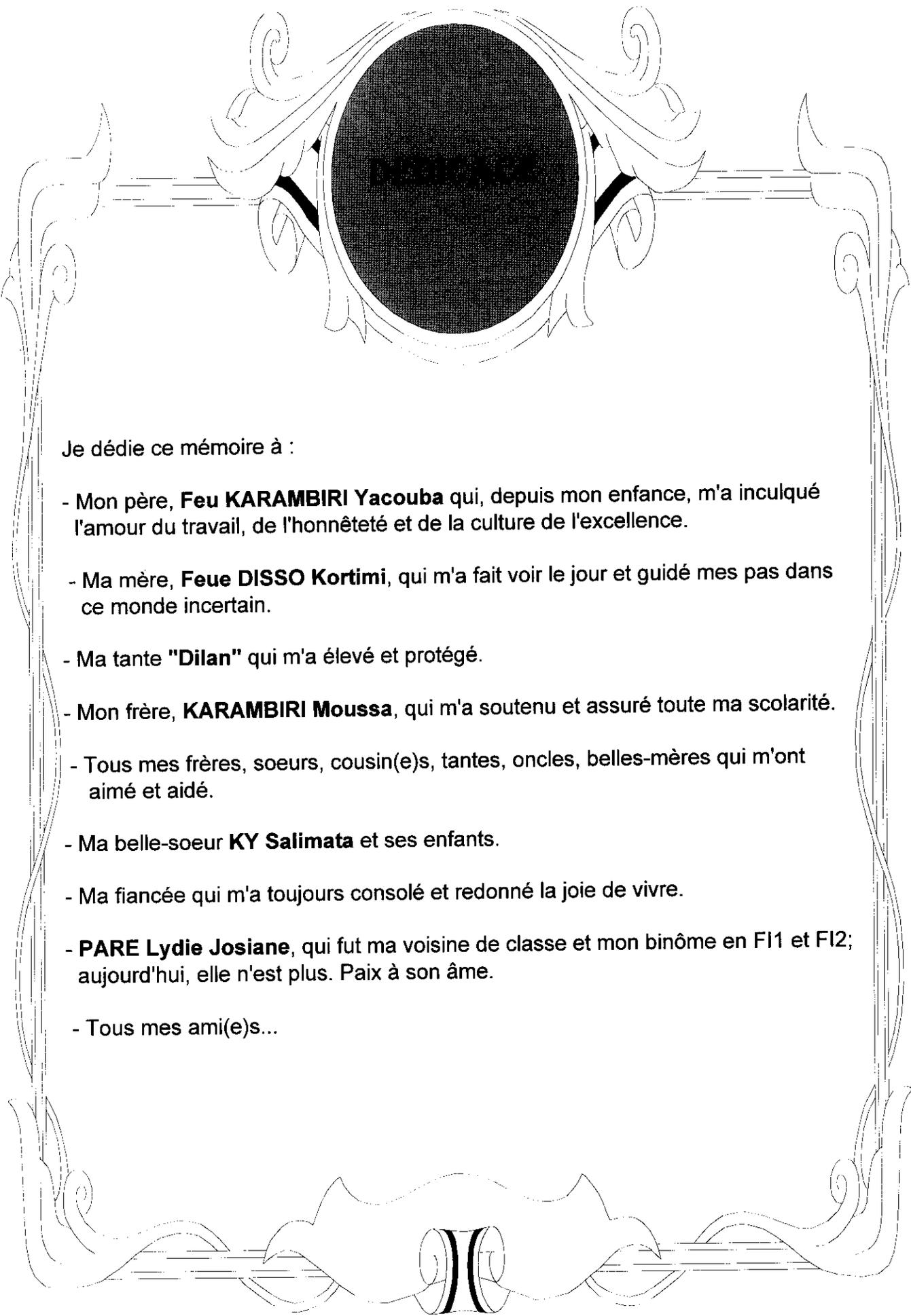
KARAMBIRI Harouna

Etude de l'envasement des barrages au Burkina Faso : Etude de cas

MENTION :



Encadrement
M. L. COMPAORE
J. M. DURAND



Je dédie ce mémoire à :

- Mon père, **Feu KARAMBIRI Yacouba** qui, depuis mon enfance, m'a inculqué l'amour du travail, de l'honnêteté et de la culture de l'excellence.
- Ma mère, **Feue DISSO Kortimi**, qui m'a fait voir le jour et guidé mes pas dans ce monde incertain.
- Ma tante "**Dilan**" qui m'a élevé et protégé.
- Mon frère, **KARAMBIRI Moussa**, qui m'a soutenu et assuré toute ma scolarité.
- Tous mes frères, soeurs, cousin(e)s, tantes, oncles, belles-mères qui m'ont aimé et aidé.
- Ma belle-soeur **KY Salimata** et ses enfants.
- Ma fiancée qui m'a toujours consolé et redonné la joie de vivre.
- **PARE Lydie Josiane**, qui fut ma voisine de classe et mon binôme en F11 et F12; aujourd'hui, elle n'est plus. Paix à son âme.
- Tous mes ami(e)s...

REMERCIEMENTS

Je tiens tout particulièrement à remercier mes encadreurs **Mrs. Laurent Moussa COMPAORE** et **Jean Maurice DURAND** qui m'ont suivi et conseillé tout au long de ce mémoire.

Je remercie également pour leur grande disponibilité :

- **Mr. Simon COMBARI**, chef du service topographique de l'ONBAH.
- **Mr. NIKIEMA Oumarou**, Technicien à l'ONBAH.
- **Mr. SAMANDOULGOU Saïdou**, documentaliste à l'ONBAH.
- **Mr. TAMBOURA Djibrilou**, chef du centre de documentation sur l'eau de la Direction Générale de l'Hydraulique (DGH).
- **Mr. TOUGOUMA Tasséré Sylvanus**, documentaliste à la DGH.

Que tous ceux ou toutes celles qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réussite de ce mémoire, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

KARAMBIRI Harouna.

bien



AVERTISSEMENT

Le présent rapport a été rédigé dans le cadre du mémoire de fin d'études. Il se limite donc à l'étude de cinq(5) barrages au Burkina Faso compte tenu de la faible disponibilité en temps imparti à ce travail. L'objectif n'a pas été d'entreprendre une étude systématique et fondamentale sur l'envasement, ni de trouver des solutions toutes faites à celui-ci. Vu la complexité du phénomène, le but principal de ce mémoire est de rassembler, pour les sites choisis, toutes les données essentielles accumulées ces dernières années (relevés bathymétriques), de les traiter afin de révéler l'importance des niveaux d'envasement, de les interpréter pour en tirer les paramètres pertinents de l'estimation de l'envasement. On proposera pour finir des formules plus adaptées qui prennent en compte ces paramètres.

Les résultats de cette étude ne pourront être généralisés qu'avec prudence, chaque cas restant un cas particulier.

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages |
|---|-----------|
| RESUME..... | 5 |
| INTRODUCTION..... | 6 |
| PRESENTATION DU BURKINA FASO..... | 7 |
| ETAT DE CONNAISSANCE SUR L'ENVASEMENT AU BURKINA FASO..... | 10 |
| APPROCHE METHODOLOGIQUE..... | 11 |
| A- ETUDE GENERALE DE L'ENVASEMENT..... | 12 |
| I- L'érosion sur les bassins versants..... | 13 |
| I-1- Agents et facteurs de l'érosion..... | 13 |
| I-2- Mécanisme du transport solide..... | 15 |
| II- La sédimentation dans les barrages..... | 18 |
| II-1- Processus..... | 18 |
| II-2- Conséquences..... | 19 |
| III- Quelques méthodes d'estimation de l'envasement..... | 21 |
| III-1- Mesures..... | 21 |
| III-2- Formules..... | 23 |
| IV- Les moyens de lutte..... | 26 |
| B- ETUDE DE CAS..... | 28 |
| I- Choix des sites..... | 29 |
| II- Méthodologie..... | 34 |
| III- Barrage de Gouinré..... | 35 |
| IV- Barrage de Nagréongo..... | 40 |
| V- Barrage n°2 de Ouagadougou..... | 45 |
| VI- Barrage de Salbisgo..... | 50 |

| | |
|--|-----------|
| VII- Barrage de Thiou..... | 55 |
| VIII- Barrage de Louda..... | 60 |
| IX- Analyse et commentaire des résultats..... | 61 |
| X- Critique de la méthode utilisée..... | 65 |
| XI- Etude comparative des résultats issus des mesures et de l'application des formules..... | 66 |
| XII- Proposition d'une formule d'estimation de l'envasement..... | 68 |
| CONCLUSION..... | 75 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 77 |
| ANNEXES..... | 79 |

Liste des tableaux

- Tableau n°1: Suivi du transport solide à l'échelle de quelques retenues au Burkina Faso.
Tableau n°2: Apports annuels moyens en eau de surface.
Tableau n°3: Ressources annuelles moyennes en eau souterraine.
Tableau n°4: Documentation.
Tableau n°5: Superficie des bassins versants.
Tableau n°6: Pluviométrie.
Tableau n°7: Formations géologiques.
Tableau n°8: Relief.
Tableau n°9: Récapitulatif des résultats.
Tableau n°10: Résultats des mesures et calculs.
Tableau n°11: Erreurs relatives.
Tableau n°12: Variables de régression.
Tableau n°13: Logarithme népérien des variables.
Tableau n°14: Vérification.
Tableau n°15: Contre vérification.

Liste des figures

- Figure n°1: L'effet "splash".
Figure n°2: Les modes de transport.
Figure n°3: Erosion de ruissellement et par courant.
Figure n°4: Erosion des fonds par entraînement et des berges.
Figure n°5: Mécanisme de sédimentation dans un barrage.

Liste des graphiques

- Graphique n°1: Récapitulatif des résultats.
Graphique n°2: Abaque de détermination de K.
Graphique n°3: Evolution de la pluviométrie annuelle de la station de Koudougou.
Graphique n°4: Evolution de la pluviométrie annuelle de la station de Ouagadougou.
Graphique n°5: Evolution de la pluviométrie annuelle de la station de Ouahigouya.

Liste des cartes

- Carte n°1: Le Burkina Faso en Afrique de l'Ouest.
Carte n°2: Situation des 5 barrages choisis.
Carte n°3: Carte géologique simplifiée.
Carte n°4: Carte des sols.
Carte n°5: Grandes zones de végétation.

RESUME

Le Burkina Faso, pays sahélien, vit aujourd'hui, tout comme les autres pays de la sous région, une situation critique de manque d'eau consécutive à la baisse de la pluviométrie. Les barrages de retenue d'eau réalisés pour la mobilisation des eaux de surface connaissent non seulement des problèmes de remplissage, mais aussi d'envasement.

Cet envasement est lié principalement à l'érosion sur le bassin versant qui peut être d'origine éolienne, géologique, hydrique ou anthropique. Les deux dernières étant les formes les plus importantes et fréquentes au Burkina Faso. Elles ont pour facteurs : la pluie, la nature des sols, le couvert végétal, la pente et les activités humaines (techniques culturales, déforestation, etc...).

Les matériaux arrachés sur le bassin versant sont transportés par reptation (pour les gros grains), par saltation (pour les petits et moyens grains) et par suspension (pour les colloïdes ou poussières) jusque dans la retenue. Les cailloux, les sables fins et grossiers se déposent à l'entrée du barrage formant un delta; alors que les matériaux très fins sont soit déposés au fond, soit évacués par le déversoir.

Les conséquences de la sédimentation sont multiples et variées. Les plus importantes sont :

- La perte de capacité des barrages, ce qui entraîne des pénuries d'eau et des baisses de rendements agricoles.
- Les dépôts dans les conduites d'alimentation en eau, le colmatage des injecteurs d'irrigation et des échangeurs thermiques industriels.
- La perturbation du fonctionnement des stations de pompage et de traitement.

Les moyens de lutte sont curatifs et préventifs. Ils ne résolvent pas entièrement le problème de la sédimentation, mais ne font qu'en retarder l'échéance. Ils sont parfois onéreux et difficiles à mettre en place.

La présente étude de cas porte sur les barrages de Gouinré, Nagréongo, Ouaga n°2, Salbisgo et Thiou; et se propose de déterminer l'ampleur de l'envasement dans ces retenues ainsi que les paramètres importants à prendre en compte.

INTRODUCTION

La mauvaise pluviométrie de ces dernières années constitue une véritable préoccupation pour les pays sahéliens pour lesquels la ressource eau devient une denrée rare et précieuse. A cela s'ajoutent la forte évaporation des plans d'eau et l'envasement des barrages.

Pour des pays comme le Burkina Faso dont l'économie est basée sur l'agriculture, tout développement passe nécessairement par une maîtrise et une gestion rationnelle des eaux de surface et souterraines. C'est dans cette optique que plusieurs barrages ont été construits. Ils ont pour vocation principale :

- La production agricole;
- L'alimentation en eau des populations et du cheptel;
- La production d'électricité;
- La préservation de l'environnement.

L'envasement des retenues qui autrefois était relégué au second plan, doit être, aujourd'hui et plus que jamais, pris en compte pour garantir la viabilité des projets de barrages. C'est un phénomène complexe, mal connu et mal estimé.

Le présent mémoire dont le thème est :

" Étude de l'envasement des barrages au Burkina Faso: Étude de cas "

est une modeste contribution à une meilleure connaissance de l'envasement. Son objectif est, à partir d'un échantillon de sites, de rassembler toutes les données des mesures bathymétriques faites ces dernières années et toute la documentation nécessaire, de les traiter, analyser, interpréter, cela afin de dégager les tendances et définir les paramètres pertinents pour une bonne estimation et une prise en compte efficace de l'envasement .

Pour ce faire, nous commencerons par une étude générale de l'envasement qui portera sur :

- L'érosion sur les bassins versants (facteurs, mécanisme);
- La sédimentation dans les barrages (processus, conséquences);
- Les méthodes d'estimation de l'envasement (mesures, formules);
- Les moyens de lutte (préventive , curative).

Nous ferons par la suite l'étude de cas qui concerne les barrages de Gouinré, Nagréongo, Ouagadougou n°2, Salbisgo et Thiou.

Pour chaque site, nous déterminerons le volume de dépôts solides. Une interprétation permettra de comparer les différents sites.

Après une étude comparative des résultats de mesures avec ceux obtenus par l'application des formules existantes, nous terminerons par la proposition d'une formule qui, nous pensons, est plus adaptée.

PRESENTATION DU BURKINA FASO

Le Burkina Faso est un pays situé au cœur de l'Afrique Occidentale dans la Boucle du Niger. Il s'étend sur une superficie de 274 200 km² et est caractérisé par un climat de type sahélien au Nord et soudano-guinéen au Sud-Ouest. La pluviométrie moyenne varie de moins de 400 mm au Nord à 1300 mm au Sud-Ouest et la saison des pluies dure de 6 mois au Sud-Ouest à 3 mois au Nord.

La population résidente en 1996 était estimée à un peu plus de 10 millions d'habitants dont plus de 86% vivent en milieu rural [INSD, 1998]. Le taux de croissance global de la population burkinabé est estimé à 2,5%. Il est de 2% en milieu rural, 4% en milieu semi-urbain, 6% en milieu urbain avec 8% pour Ouagadougou. Les femmes représentent 52% de la population totale.

Le Burkina Faso est classé parmi les pays les moins avancés avec un Produit National Brut (PNB) d'environ 65 000 FCFA par tête d'habitant. Son économie est essentiellement basée sur l'agriculture et l'élevage, dont la valeur ajoutée représente 30% du produit intérieur brut (PIB) et occupe près de 75% de la population active.

Cette agriculture est caractérisée par un secteur traditionnel dominant et une forte dépendance à l'égard des conditions pluviométriques qui se sont montrées très erratiques ces dernières décennies. L'industrie, quant à elle, est peu développée et concentrée à Ouagadougou, Bobo-Dioulasso, Koudougou et Banfora.

En ce qui concerne les eaux de surface, les cours d'eau du Burkina Faso ont un caractère temporaire à l'exception du Mouhoun et de la Comoé. L'écoulement se fait pendant l'hivernage du mois de juillet au mois de septembre/octobre. Le territoire national est couvert par 4 principaux bassins versants qui sont :

- Le bassin versant de la Volta qui s'étale du centre à l'ouest sur 178000 km². Il est drainé par le Mouhoun (91570 km²) qui prend sa source sur le versant Nord de la falaise de Banfora où les précipitations dépassent 1000 mm par an, le Nakambé (58410 km²) qui prend sa source au Nord avec des précipitations annuelles de moins de 600 mm, le Nazinon (16450 km²) et la Pendjari (20000 km²).
- Le bassin du Niger avec 75000 km² qui est drainé par des petites rivières temporaires, affluents du fleuve Niger. Ces cours d'eau ont un faible débit et ne forment souvent qu'un chapelet de mares dont le bassin est bien pourvu (mares d'Oursy, de Soum et de Darkoy par exemple).
- Le bassin de la Comoé avec 17000 km² drainé par la Comoé et ses affluents qui sont la Léraba et le Yannon.
- Le bassin du Banifing avec 4000 km².

Le tableau n°1 ci-dessous donne les potentialités en eau de surface des différents bassins. Les ressources en eau sont estimées à plus de 10 milliards de m³ pour les eaux de surface. Les apports mesurés concernent les parties de bassin versant jaugées et ceux estimés concernent le reste non jaugé.

| Bassin | Superficie km ² | Apports moyens en milliards de m ³ | | | Lame mm |
|---------------|-------------------------------|---|-------------|--------------|------------|
| | | mesurés | estimés | totaux | |
| Volta | 178000 | 6.65 | 0.86 | 7.51 | 42 |
| Niger | 75000 | 0.27 | 0.43 | 0.7 | 9 |
| Comoé | 17000 | 1.45 | 0.41 | 1.86 | 109 |
| Banifing | 4000 | - | 0.10 | 0.1 | 25 |
| Totaux | 274000 | 8.37 | 1.80 | 10.17 | 37 |

Tableau n°2 : Apports annuels moyens en eau de surface. Source : [PANE, 1994 et BILAN D'EAU, 1992])

Pour atteindre l'autosuffisance alimentaire et amorcer un développement humain durable, le Burkina Faso a engagé depuis quelques années, la "grande bataille" de l'eau. Il compte actuellement plus de 2000 barrages toutes tailles confondues qui servent à la mobilisation des ressources en eau de surface. La construction de ces barrages traduit bien une volonté politique à résoudre le problème crucial de manque d'eau.

Quant aux eaux souterraines, la réserve est constituée des aquifères suivants :

- * ☛ aquifère continu de la plaine de Gando
- ☛ aquifère discontinu du socle précambrien dont les potentialités en eau sont liées à l'altération, à la fissuration ou à la fracturation
- ☛ les grès du sud-ouest

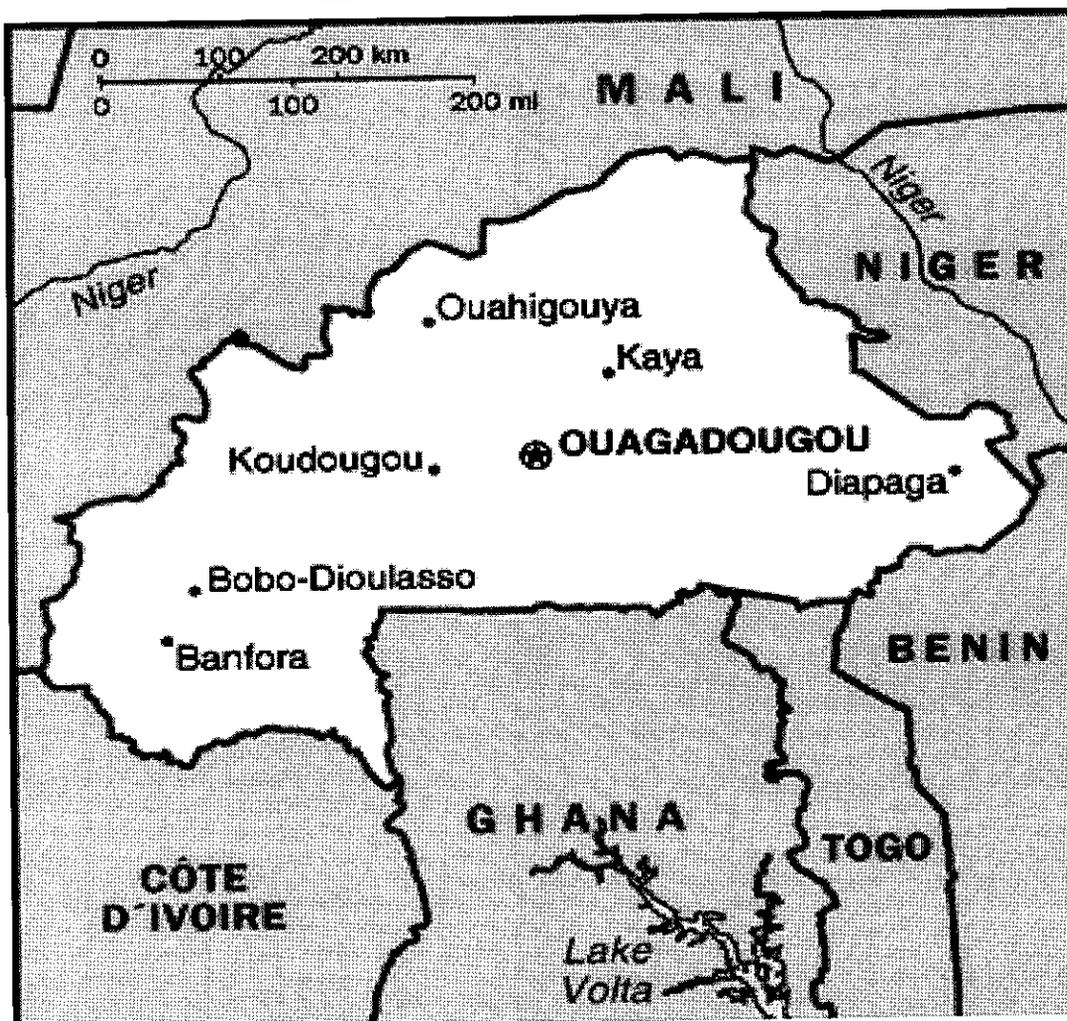
| Aquifère | Superficie (km ²) | Infiltrations (mm) | Ressources en milliards de m ³ |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|--|
| Aquifère du Gando | 11000 | 38 | 0.42 |
| Socle cristallin | 225000 | 17 | 3.82 |
| Grès du sud-ouest | 35000 | 60 | 1.92 |
| Divers | 6000 | 16 | 0.10 |
| Totaux | 274000 | 23 | 6.26 |

Tableau n°3 : Ressources annuelles moyennes en eau souterraine (Source : [PANE, 1994 et BILAN D'EAU, 1992]).

Le tableau n°2 donne une valeur des réserves en eau souterraine qui sont estimées à plus de 6 milliards de m³.

Le volume total des ressources en eau en année moyenne est donc de plus de 16 milliards de m³ équivalent à une lame d'eau de 60 mm.

Le Burkina Faso est situé dans le rectangle de coordonnées géographiques :
Latitude : 9.45° N - 15.05° N
Longitude : 2.41° O – 5.54 ° O



Carte n°1: Le Burkina Faso en Afrique de l'Ouest

ÉTAT DE CONNAISSANCE SUR L'ENVASEMENT DES BARRAGES AU BURKINA FASO.

ce n'est
pas l'avis
général

L'absence quasi totale d'informations concernant le remplissage par sédimentation dans les barrages en Afrique sahélienne et particulièrement au Burkina Faso peut s'expliquer en partie par une gravité réputée relativement faible de ce problème. L'habitude a donc été prise d'accorder moins d'importance à cet aspect dans l'étude des retenues d'eau.

Aujourd'hui, la sédimentation de certains barrages s'avère tellement rapide et spectaculaire, mettant du coup en cause la viabilité de ces ouvrages, que la problématique de l'envasement est devenue un sujet d'actualité.

Les principales références en matière d'envasement au Burkina Faso sont consignées dans le tableau suivant :

| Barrages | Surface (km ²) | Période d'étude | Organisme ou auteur | Pluie moyenne annuelle (mm) | Dégradation spécifique annuelle | |
|---------------|----------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | | | | | m ³ /km ² /an | t/ha/an (densité de 1.2) |
| Volta Blanche | 30 200 | 08 à 10 1977 | ORSTOM | 625 | 6.2 | 0.07 |
| Kompienga | 5 800 | 07 à 10 1980 | HER | 905 | 53 | 0.67 |
| Goundi | 38 | 64 - 80 | EIER | 900 | 160 | 1.92 |
| Samboendi | 148 | 64 - 80 | EIER | 724 | 260 | 3.1 |
| Vi | 92 | 64 - 80 | EIER | 1000 | 52 | 0.64 |
| Boulbi | 102 | 60 - 83 | MIETTON | 850 | 75 | 0.95 |
| Mogtêdo | 480 | 91 - 93 | PMI - BF | 730 | 137 | 1.64 |

Tableau n°1 : Suivi du transport solide à l'échelle de quelques retenues au Burkina Faso.

qu'est ce que cela fait ramener en t/ha (carbone de mm)

Depuis ces dernières décennies, il s'est constitué une banque de données de mesures sur les barrages (relevés bathymétriques, sondages, jaugeages des débits, etc.). Il est fort regrettable de noter que la plupart de ces mesures, souvent commandées par des projets, ONG, Offices nationaux ou encore des Organismes internationaux, sont ponctuelles et n'aboutissent pas à une recherche systématique sur la thématique de l'envasement. On relève également une insuffisance de l'implication des Chercheurs dans ce domaine pour une meilleure connaissance du phénomène.

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour mener à bien l'étude, il nous a semblé opportun de définir une démarche à suivre. Elle repose sur les étapes suivantes :

Etape 1 :

Elle comprend :

- Le recensement au niveau de l'ONBAH (Office National des barrages et des Aménagements Hydro-Agricoles), de la DGH (Direction Générale de l'Hydraulique), de la DIRH (Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques) des sites sur lesquels des mesures de bathymétrie ont été effectuées ces dernières années.
- La vérification de l'existence de la documentation sur ces sites.
- Le dépouillement et le choix des sites à étudier.

Etape 2 :

Il s'est agi dans cette étape de rassembler toute la documentation nécessaire sur le thème et de l'exploiter.

Etape 3 :

Une synthèse de l'étude bibliographique a été faite. Elle a porté sur l'érosion sur les bassins versants, la sédimentation dans les barrages, les méthodes d'estimation et les moyens de lutte.

Etape 4 :

Nous avons entamé l'étude de cas qui a abouti à la détermination des volumes d'envasement dans les différents barrages.

Etape 5 :

Elle a consisté en une étude diachronique de photo-interprétation des bassins versants de chacun des barrages.

Etape 6 :

Dans cette étape, nous avons entrepris des sorties de terrain. Chaque site a été visité; cela afin de faire quelques vérifications et d'acquérir des informations complémentaires.

Etape 7 :

Cette dernière étape comprend :

- Une synthèse des données de terrain;
- une interprétation de tous les résultats;
- une étude comparative de ces résultats avec ceux issus des formules;
- des propositions....

A- ÉTUDE GÉNÉRALE DE L'ENVASEMENT

I- L'érosion sur les bassins versants

Il existe de nos jours une grande polémique, entre les auteurs, sur le terme érosion. Certains prétendent que le transport et la sédimentation seraient des stades de l'érosion. Pour d'autres, c'est la sédimentation qui serait le terme général et l'érosion, le transport et le dépôt de matériaux en seraient les principales étapes. D'autres soutiennent encore que l'érosion est tout simplement l'enlèvement, le détachement des fragments ou des particules de sol et de roche de leur assise initiale.

Ce qui a conduit A. RAMPON 1987, à poser que :

- Érosion sensu stricto = Séparation des particules (ou détachement, ou avulsion, ou arrachement).
- Érosion sensu lato = Séparation + transport.

Selon lui, la sédimentation ne devrait pas être associée à la définition de l'érosion.

Dans ce mémoire, nous traiterons de l'érosion comme étant un phénomène géologique par lequel, les matériaux du sol sont arrachés et transportés vers un lieu de dépôt. Il s'agit donc de l'érosion sensu lato.

I-1- Agents et facteurs de l'érosion

On peut distinguer les différents types d'érosion qui sont l'érosion éolienne, géologique, hydrique et anthropique.

① Érosion éolienne :

Le vent qui souffle sur le bassin versant effectue un vannage de la surface de sol, arrachant ainsi des particules de matériaux qui sont transportées dans la retenue. Ce phénomène est accentué en absence de toute végétation.

② Érosion géologique :

Cette forme d'érosion se produit après altération de la roche en place. Les matériaux en équilibre instable se détachent et basculent sous leur propre poids. Une pente forte des versants favorise le transport des matériaux vers la retenue.

③ Érosion hydrique :

C'est la forme la plus courante et la plus répandue. Ses principaux facteurs sont :

- **La pluie** : La pluie et le ruissellement superficiel constituent les deux facteurs clés de l'érosion hydrique. En effet, le sol subit un martèlement excessif causé par les gouttes de pluie: C'est l'effet "splash".

Il s'en suit un déplacement, un tassement et un durcissement des éléments fins qui bouchent les pores du sol, formant ainsi une croûte de battance. La vitesse d'infiltration de l'eau devient faible et inférieure à l'intensité de la pluie. Il se forme donc un ruissellement qui arrache des matériaux sur son parcours.

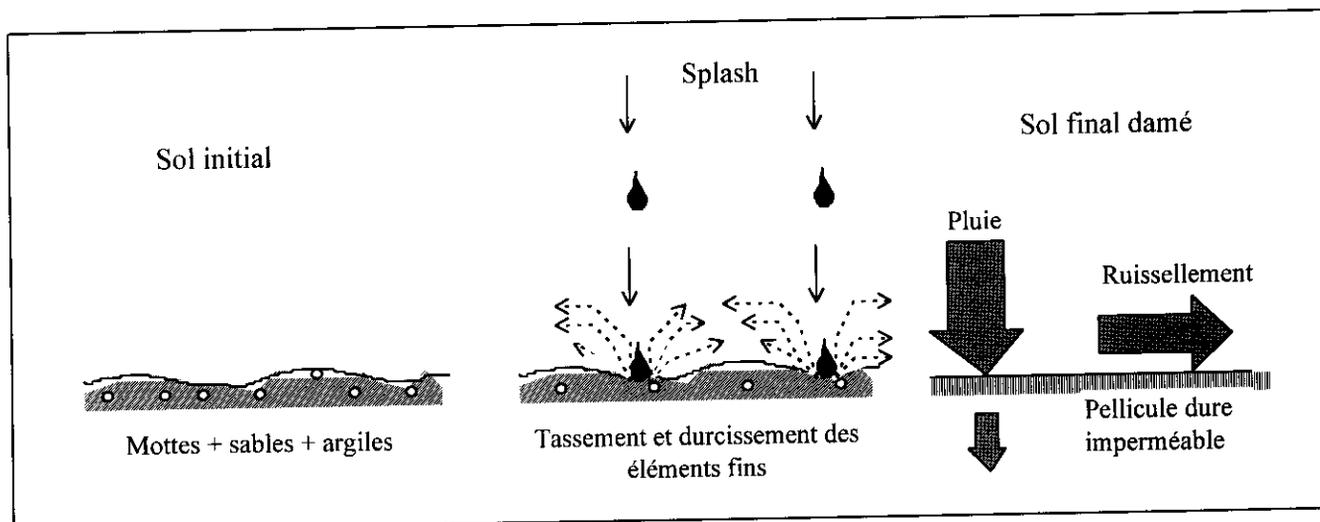


Figure n°1 : L'effet "Splash".

Source : CILSS/PAC (1989)

- **Le sol** : Le sol intervient dans l'érosion hydrique par sa résistance, sa cohésion et sa conductivité hydraulique. Un sol peu résistant, non cohésif et sans matière organique est sensible à l'érosion. Un sol à grande conductivité hydraulique réduit le ruissellement et donc l'érosion.

- **Le couvert végétal** : La végétation joue un rôle de dissipateur d'énergie de la pluie. Elle favorise l'infiltration et limite l'érosion.

- **La pente** : Les facteurs topographiques tels que la pente, le relief agissent sur l'érosion. La pente intervient par son intensité et sa longueur. L'érosion s'accroît avec un écoulement rapide sur des pentes fortes.

- **Les vagues** : Quand le vent souffle sur le plan d'eau, il exerce une contrainte tangentielle sur la surface. Le transfert de quantité de mouvement qui en résulte fait bouger l'eau de la surface dans la direction du vent, créant ainsi des vagues ou rides. L'effet de battage arrache les matériaux non consolidés des berges et les redistribue au large.

Notons qu'il existe d'autres facteurs qui influent sur le processus d'érosion. Nous pouvons citer entre autres la superficie du bassin versant, la variation de température, la nature du réseau hydrographique.

④ Érosion anthropique :

Les actions combinées de l'homme et des animaux contribuent fortement à l'érosion. Ces actions sont soit :

- Directes : Confection de briques, de terriers, déplacement des troupeaux, carrières, techniques culturales, guerres, etc...
- Indirectes : Destruction de la forêt par les feux de brousse, le surpâturage, les défrichements, la pression démographique, etc...

I-2- Mécanisme du transport solide

Selon A. RAMPON 1987, "Les produits résultants de l'érosion sont transportés sous trois formes : Matières dissoutes, matières en suspension, matières charriées".

Qu'il s'agisse de l'érosion hydrique ou éolienne, il existe trois principaux modes de transport des matériaux :

- **La reptation** : C'est une suite de déplacements infimes de quelques millimètres de gros grains qui roulent.
- **La saltation** : Ce sont de petits sauts de grains moyens ou fins qui sont soulevés brutalement et jetés à quelques décimètres, mètres ou décamètres.
- **La suspension** : C'est le transport sous forme de poussières ou de colloïdes.

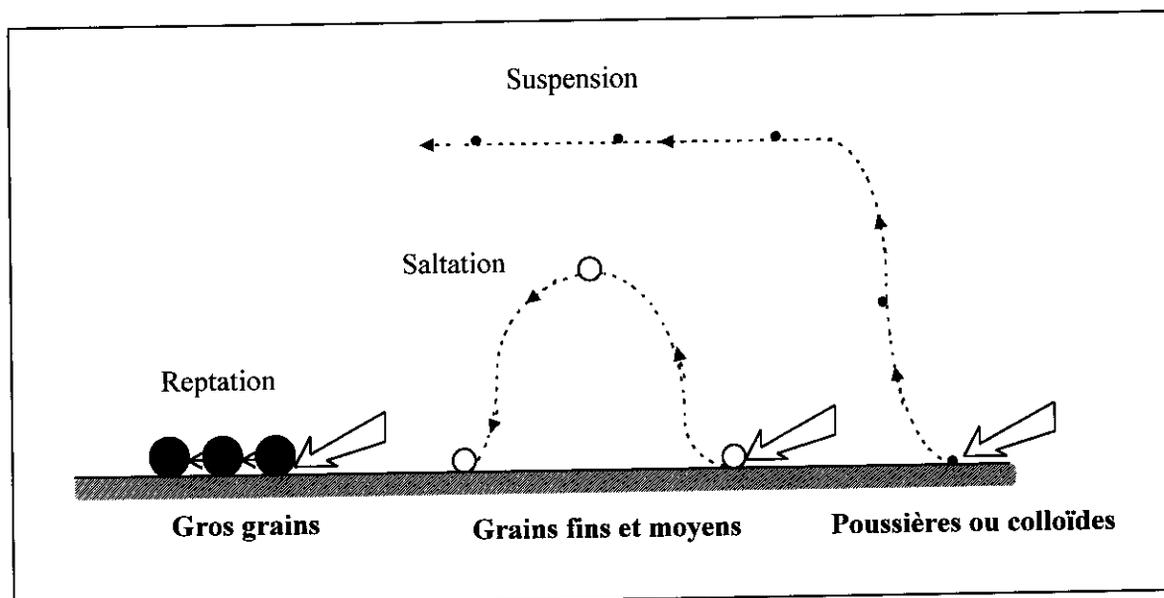
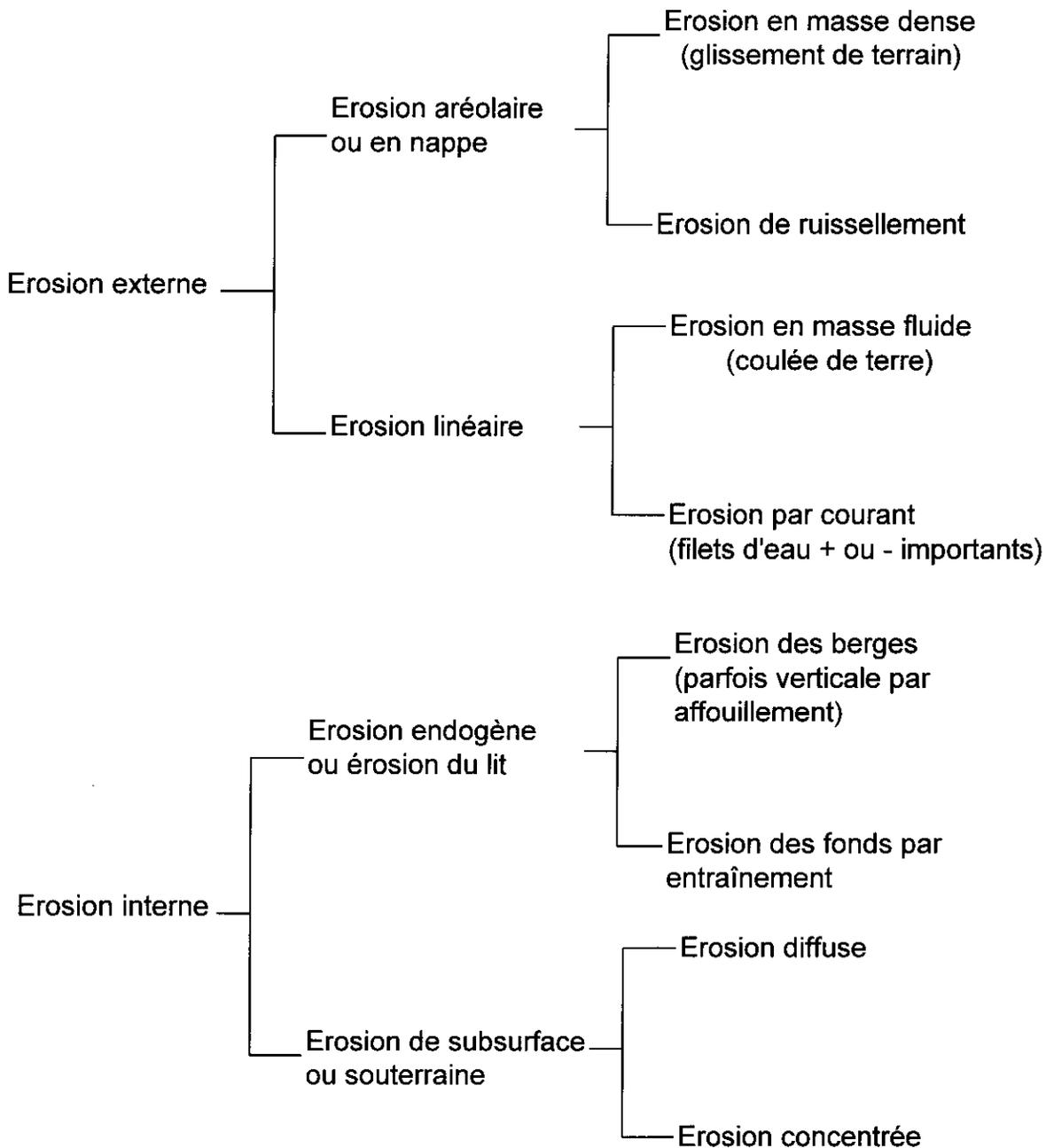


Figure n°2: Les modes de transport.

Source : CILSS/PAC (1989)

Comme nous pouvons le constater, le transport d'une particule d'un point à un autre dépend de la force tractrice (force d'entraînement), du poids de la particule et d'autres paramètres tels que la forme et la taille de la particule, la vitesse et la compétence (capacité à transporter de la matière solide) du vent ou du cours d'eau ..

En ce qui concerne particulièrement l'érosion hydrique, A. RAMPON a dressé le schéma suivant :



Erosion hydrique dans un bassin versant : Schéma dichotomique des différents types.

A. RAMPON (1987)

Quelques illustrations :

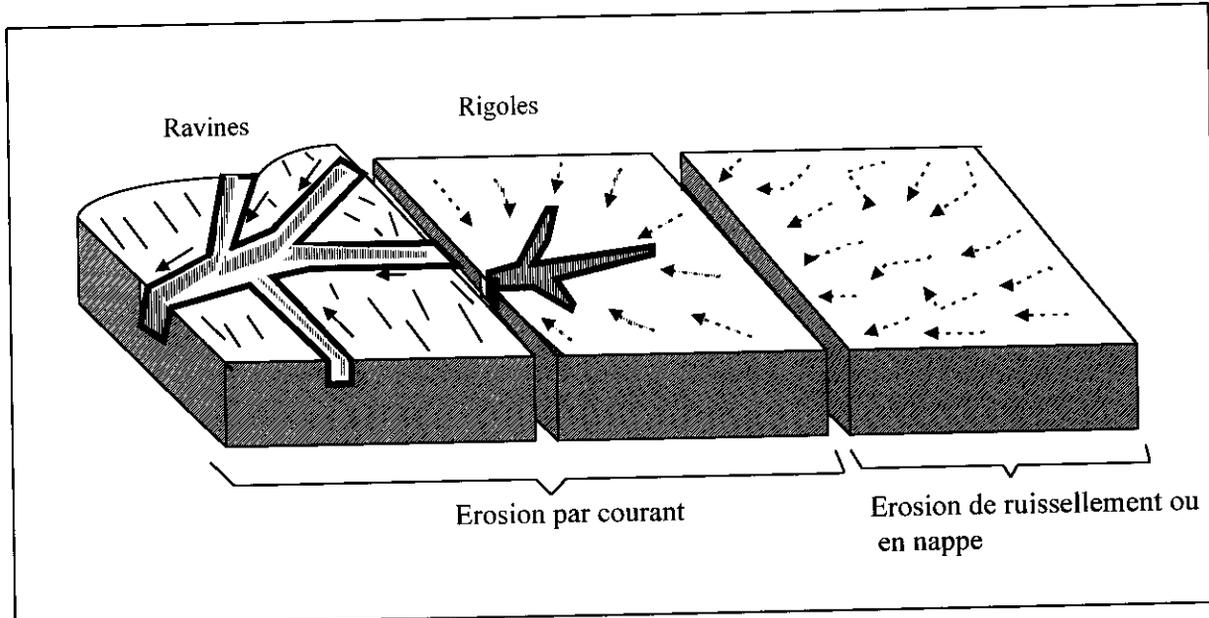


Figure n°3 : Erosion de ruissellement et par courant.

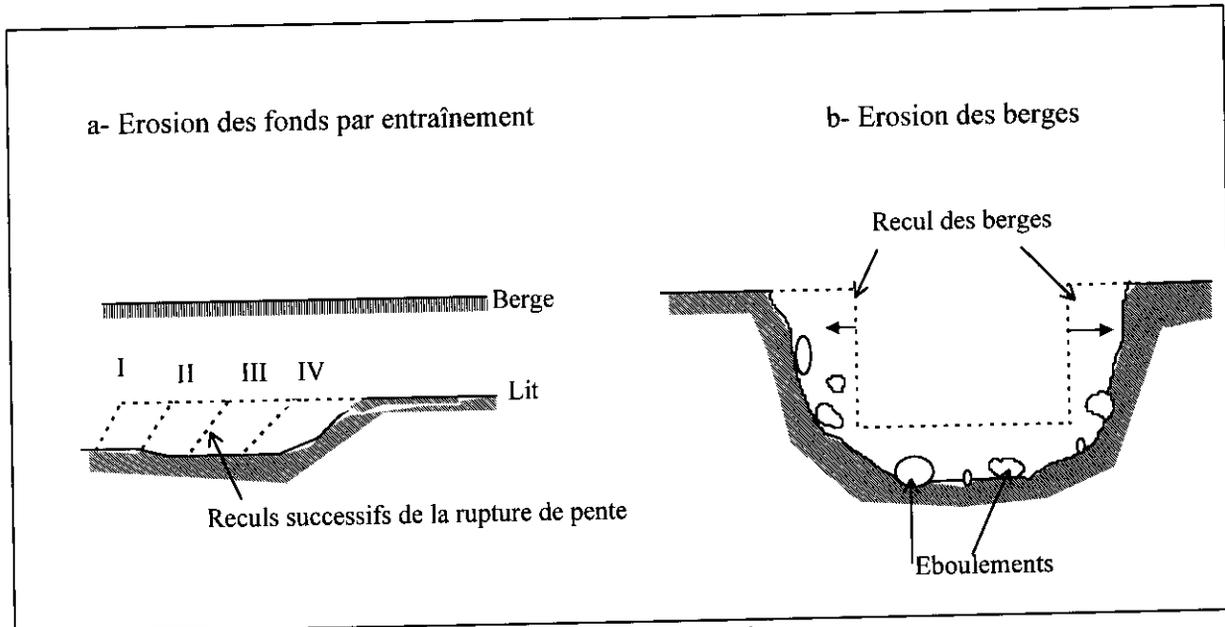


Figure n°4 : Erosion des fonds par entraînement et des berges.

Source : CILSS/PAC (1989)

II- La sédimentation dans les barrages

II-1- Processus

Le processus de la sédimentation dans les barrages reste complexe et variable d'un cas à un autre. Nous pouvons cependant retenir que lorsque les sédiments arrivent à l'entrée du réservoir, la vitesse d'écoulement diminue, les matériaux se déposent dans l'ordre: Cailloux - Sables grossiers - Sables fins. Ils forment ainsi un delta.

Les matériaux fins (sables très fins, limons, argiles) sont dispersés dans la masse d'eau et maintenus en suspension par la turbulence naturelle. Ces matériaux peuvent flocculer et se décanter, formant une vase de fond. Dans le cas contraire, ils sont transportés jusqu'au déversoir et évacués lors des crues.

Les dépôts solides ont tendance à se consolider sous l'eau. Ils peuvent être l'objet d'érosion à leur tour, provoquée par les courants de fond dus au vent ou aux grandes crues.

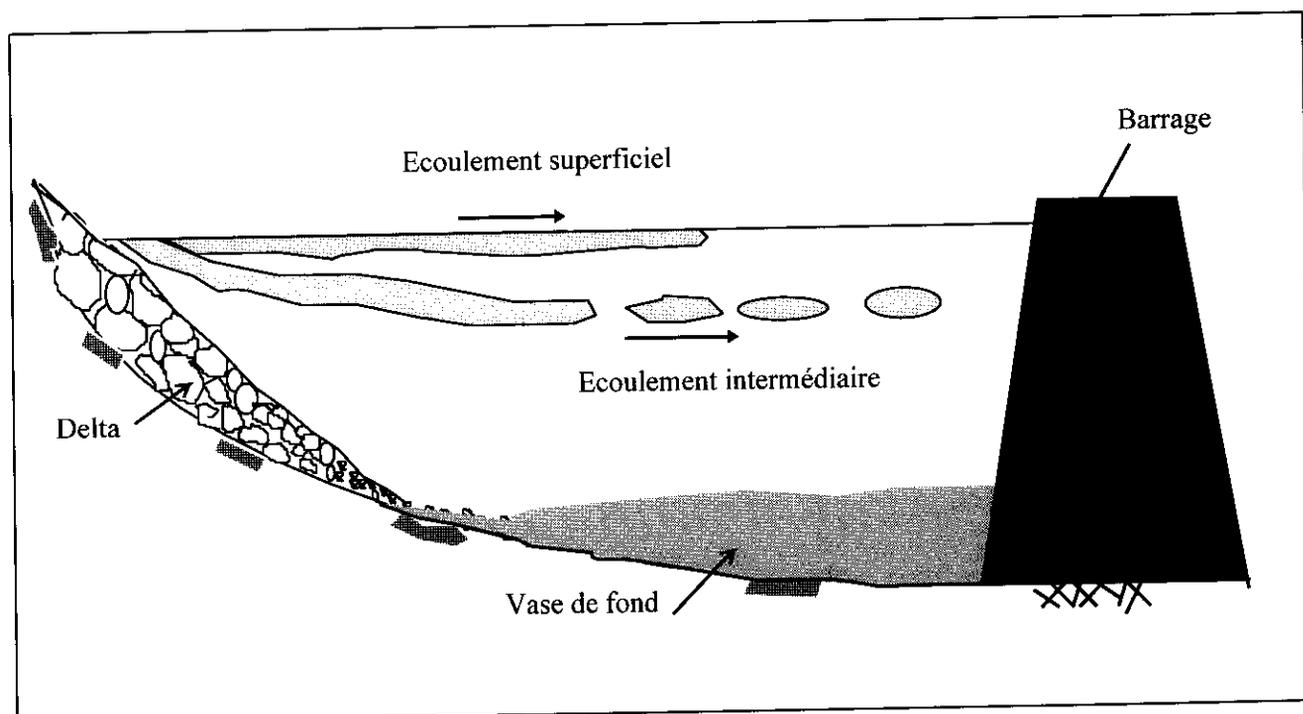


Figure n°5 : Mécanisme de sédimentation dans un barrage.

Source : BRUK S. (1986) complété par KARAMBIRI H.

II-2- Conséquences

① Conséquences socio-économiques

- La diminution de la capacité de la retenue due à l'envasement entraîne des répercussions sur la production d'énergie électrique. Les puissances maximales de pointe ne pourront plus être assurées du fait de la faible charge d'eau disponible.
- Dans le cas d'un ouvrage à vocation agro-pastorale, toute diminution du volume d'eau dans la retenue conduirait à des pénuries d'eau aux effets catastrophiques puisqu'elle entraînerait des pertes de récolte, l'insatisfaction des besoins humains et pastoraux.
- La sédimentation peut avoir comme conséquences :
 - des dépôts dans les canaux ou conduites d'alimentation en eau;
 - l'obstruction des injecteurs d'irrigation par aspersion ou localisée;
 - l'apparition de taches quasi indélébiles sur les fruits qui sont ainsi dépréciés;
 - le colmatage des échangeurs thermiques dans l'industrie;
 - la perturbation du fonctionnement des stations de traitement des eaux urbaines ou industrielles notamment lorsque les sédiments sont chargés en matières organiques ou en résidus toxiques.
- Les vases de fond sont très riches en éléments nutritifs. Elles constituent par la même occasion un lieu propice au développement d'une végétation aquatique. Cela conduit également au développement des espèces halieutiques qui y trouvent un abri favorable.
- La mise en place de hauts fonds et la présence de la végétation peuvent gêner la navigation et la baignade, décourageant ainsi les touristes.
- Le développement de la végétation aquatique peut donner lieu au développement d'endémies parasitaires à hôtes intermédiaires ou hôtes vecteurs (paludisme, bilharziose, onchocercose), ou sans hôtes intermédiaires (amibiases), à des maladies d'origine virale et bactérienne.
- La perte de capacité des barrages provoque lors des crues une surélévation du plan d'eau et des inondations en amont.

② Conséquences techniques

➤ *Dans le réservoir.*

- La remontée du plan d'eau provoque une érosion des berges.

- Le blocage, par consolidation des dépôts, des organes profonds d'évacuation (vidange de fond, vannes, etc...).
- Les poussées dues aux dépôts solides, lorsqu'elles deviennent importantes, peuvent diminuer la stabilité des barrages, si au départ, elles n'ont pas été prises en compte dans les calculs de stabilité. Les réactions chimiques au sein des sédiments (surtout le cycle du soufre) peuvent attaquer le béton.

➤ *En amont.*

La formation d'un delta provoque des dépôts dans le lit de la rivière qui gêne la navigation, et un exhaussement du niveau de l'eau. Cela peut entraîner la divagation du lit de la rivière.

➤ *En aval.*

L'eau ayant déposé ses matériaux dans le réservoir, sa compétence augmente et donc son pouvoir d'érosivité. Cela provoque une érosion du pied aval de l'ouvrage et le sapement des berges.

III- Quelques méthodes d'estimation de l'envasement

III-1- Mesures

Il existe plusieurs méthodes de mesure de l'envasement dans les barrages. Chacune d'elle a ses forces et faiblesses. Le degré de précision varie d'une méthode à une autre. Les plus connues sont :

① L'utilisation des nasses (pièges à sable).

A l'aide d'une cage grillagée que l'on pose au fond de la retenue, on piège les sédiments. On relève la cage en des intervalles de temps bien déterminés pour estimer le volume de dépôts solides. Les résultats de cette méthode sont considérés comme incertains. En effet, les dimensions limitées des nasses rendent sporadique la méthode et il est difficile voire impossible de déterminer avec précision le temps de remplissage de celles-ci.

② La fosse à sédiments.

C'est une méthode qui consiste à réaliser une fosse sur toute la largeur du lit afin de capter les sédiments. On suit ainsi son remplissage dans le temps. C'est une méthode fiable mais "lourde" à mettre en place car la longueur de la fosse peut atteindre plusieurs kilomètres.

③ La marquage des sédiments.

Les sédiments sont marqués sur le bassin versant par de la peinture ou des traceurs radioactifs. Il s'agira de retrouver dans la retenue les sédiments marqués et cela après une pluie ou une saison pluvieuse. La difficulté de cette méthode réside dans la recherche des sédiments peints. On estime que le pourcentage de galets peints retrouvés après charriage est très faible ($< 10\%$) pour des raisons d'effacement de peinture, d'usure et d'enfouissement de ces galets.

④ Le prélèvement en rivière par des bouteilles spéciales.

On effectue des prélèvements et on procède à la détermination de la teneur en sédiments au laboratoire. Vu son caractère ponctuel, cette méthode ne saurait être adaptée au suivi annuel de la sédimentation.

⑤ La néphélogéométrie.

C'est un procédé optique qui permet de détecter les "nuages" de sédiments. Il est basé sur la réflexion ou l'absorption de la lumière par les particules. Les néphélogéomètres peuvent être immergeables ou non. Lorsque la quantité de matière en suspension (MES) est importante, ce procédé n'opère plus.

⑥ La datation des sédiments.

Il s'agit de faire des prélèvements de dépôts, de les dater à l'aide de traceurs radioactifs tel que le carbone 14, afin de déterminer le taux de sédimentation. Cette méthode qui convient bien sur des périodes passées allant d'une décennie à plusieurs milliers d'années, ne permet pas d'étudier l'envasement actuel des retenues.

⑦ La télédétection.

Elle permet d'élaborer des levés topographiques à partir de photographies aériennes à basse altitude afin de déterminer les volumes de sédiments. A l'aide de la photogrammétrie, on peut repérer les courants de turbidité et déterminer ainsi la distribution des sédiments. On note que c'est une méthode très coûteuse.

⑧ Les levés topographiques.

Ils ont pour but de déterminer le volume compris entre deux levés successifs. Il est préférable de faire un levé avant la mise en eau du barrage. Ces levés font appel à deux méthodes: La méthode des profils et la méthode des courbes de niveau.

La première méthode consiste à établir une série de profils en travers lors des différents levés. Chaque profil représente une tranche d'eau. C'est une méthode rapide, relativement peu onéreuse et qui convient bien aux retenues de moyennes ou grandes dimensions. Elle est moins précise que la méthode des courbes de niveau.

La seconde méthode consiste à construire des courbes de niveau (intervalles de 0.5 à 1.5 m) à chaque levé. Les résultats seront traduits en courbes hauteur-volume. Ce qui permet de déterminer le volume des sédiments par la différence des courbes hauteur-volume entre deux levés. Cette méthode est plus précise mais devient onéreuse pour les grands barrages.

Ces deux méthodes nécessitent des levés de fond de la retenue qui sont effectués par bathymétrie.

⑨ Les sondages.

C'est une technique qui consiste à matérialiser sur le plan d'eau un maillage à l'aide de fils munis de flotteurs de liège (exemple: 10m×5m). On enfonce à chaque intervalle, une perche sous faible pression. Après son retrait, on mesure la trace du dépôt laissée sur la perche pour avoir son épaisseur. On procède ainsi pour toute la cuvette et à la fin, on détermine le volume d'envasement dans le barrage. C'est une méthode nécessitant de longs levés donc fastidieuse et moins précise (on n'arrive pas souvent à distinguer la limite entre dépôts et terrain initial).

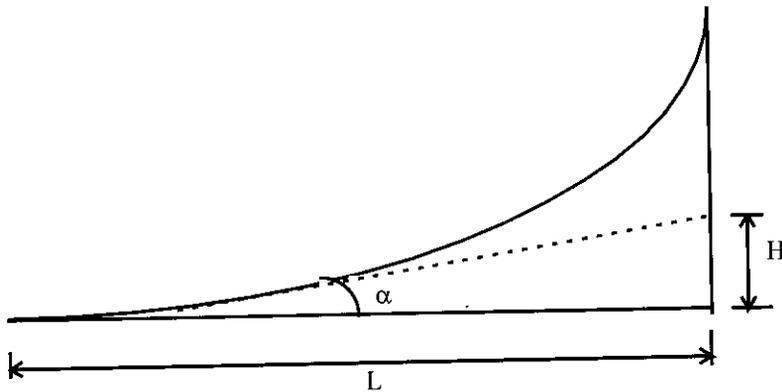
NOTA : *De toutes ces méthodes, seules les levés topographiques et les sondages sont les plus utilisées au Burkina Faso. D'ailleurs, la présente étude portera sur la méthode des courbes de niveau.*

III-2- Formules

Les formules existantes sont empiriques et approximatives.

① Formule de FOURNIER

- Si
- p : pluviométrie du mois le plus pluvieux (mm)
 - P : la hauteur d'eau précipitée annuellement (mm)
 - L : la longueur du cours d'eau principal (m)
 - H : la dénivellation moyenne du bassin versant (m), obtenue sur le profil en long du cours d'eau principal
 - $\text{tg}\alpha$: un coefficient défini par la figure ci-dessous ($\text{tg}\alpha = H/L$)
 - E : la masse des transport solides à prévoir par km^2 et par an (en $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$)



$$E = 6.14 \frac{p^2}{P} - 49.78 \quad \text{si } H \text{tg}\alpha < 6 \text{ et } 8.1 < p^2/P < 20$$

(reliefs peu accusés)

$$E = 27.12 \frac{p^2}{P} - 475.4 \quad \text{si } H \text{tg}\alpha < 6 \text{ et } p^2/P > 20$$

$$E = 52.49 \frac{p^2}{P} - 513.21 \quad \text{si } H \text{tg}\alpha > 6 \text{ et } p^2/P > 9.7$$

(formule valable pour tous climats sauf semi-arides)

$$E = 91.78 \frac{p^2}{P} - 737.62 \quad \text{si } H \text{tg}\alpha > 6 \text{ et } p^2/P > 8$$

Pour les climats semi-arides (reliefs accusés)

② **Formule de COLLET**

Elle exprime la charriage annuel sous la forme :

$$V = 523QI$$

V : Volume annuel du charriage (m³)

Q : Débit moyen naturel (m³/s)

I : Pente (‰)

③ **Formule de MEYER-PETER**

$$\left(\frac{K_s}{K_r}\right)^{3/2} R_s J = 0.047 \varpi_s'' dm + 0.25 \left(\frac{\varpi}{g}\right)^{1/3} g_s''^{2/3}$$

g_s'' : débit solide en kg par seconde et mètre de largeur

ϖ : poids spécifique de l'eau (tonnes/m³)

ϖ_s'' : poids spécifique mesuré sous l'eau des matériaux charriés (t/m³)

R_s : rayon hydraulique (m)

J : pente de la ligne d'énergie

dm : diamètre caractéristique du gravier (m)

K_s : coefficient de rugosité du lit

K_r : coefficient de rugosité des grains : $K_r = \frac{26}{\sqrt[6]{d_{90}}}$

④ **Formule de ENGELUNG HANSEN**

$$G = 0.032 * W * K^2 * R^{1/3} * d_{50}^{3/2} * f^{5/2}$$

G : débit solide (m³/s)

W : largeur du lit (m)

d_{50} : diamètre du sédiment (m) déterminé à partir des courbes granulométriques

K : coefficient de Manning (rugosité du lit)

f : coefficient d'entraînement du sédiment : $f = RS(s)/(n-1)d$ *

R : rayon hydraulique (m) : $R = \frac{WD}{W + 2D}$

D : hauteur d'eau moyenne (m)

* Ni la signification, ni les unités des termes de cette formule n'ont pu être trouvées.

⑥ **Formule de WISCHMEIER et SMITH**

$$E = 2,24 * R * K * L * S * C * P$$

- E : perte de terre (t/km²/an)
 R : facteur d'agressivité climatique
 K : facteur d'érodabilité des sols
 L : facteur longueur de pente
 S : facteur pente
 C : facteur du couvert végétal
 P : facteur des pratiques anti-érosives.

⑦ **Formule de GOTTSCHALK**

$$D = 260 * S^{-0.1} \quad \text{et} \quad V = D * S$$

- D : dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)
 S : superficie du bassin versant (km²)
 V : volume de dépôts solides annuel (m³/an)

⑧ **Formule de EIER - CIEH (GRESILLON)**

$$D = 700 \left(\frac{P}{500} \right)^{-2.2} * S^{-0.1} \quad \text{et} \quad V = D * S$$

- D : dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)
 P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)
 S : superficie du bassin versant (km²)
 V : volume de dépôts solides annuel (m³/an)

NOTA : Les formules de EIER - CIEH (GRESILLON) et de GOTTSCHALK sont les plus utilisées au Burkina Faso pour l'estimation de l'envasement dans les barrages. Il reste toutefois que les meilleures estimations des apports solides sont fournies par la comparaison avec des bassins versants voisins présentant des caractéristiques proches (superficie, érodabilité, classe et pente, végétation).

IV- Les moyens de lutte

On distingue les moyens préventifs (avant l'envasement), et les moyens curatifs (pendant et après l'envasement).

☞ Avant l'envasement

① La conservation des eaux et des sols (CES)

Ce sont des actions à entreprendre au niveau du bassin versant et qui ont pour but de réduire la dégradation des sols. Cette dégradation ayant des causes multiples, plusieurs méthodes sont appliquées.

Il s'agit essentiellement du reboisement, des cultures sur terrasses en muret, des labours selon les courbes de niveau, des banquettes de diversion ou d'infiltration, etc...

Elles ont pour effet de briser l'énergie cinétique de l'écoulement acquise sur les pentes et de favoriser ainsi l'infiltration.

On peut également disposer des diguettes en gabions à l'entrée des réservoirs pour favoriser les dépôts des matériaux grossiers.

② Les barrages de décantation ou " Debris dams "

Ce sont de petits barrages construits en amont du barrage principal que l'on veut protéger. Ils sont destinés à recueillir une bonne partie des sédiments transportés.

Ce procédé est efficace dans le cas des matériaux grossiers mais faut-il encore que la topographie du terrain s'y prête et que les conditions économiques soient favorables.

③ Le court-circuitage du barrage

Il consiste à dériver, lors des crues, une fraction du débit qui passe dans le réservoir. C'est une méthode qui convient bien aux petits barrages.

☞ Pendant l'envasement

① La constitution d'une tranche morte ou " dead storage "

Il s'agit de prévoir un certain volume de la réserve qui est sacrifié au dépôt des sédiments. Cette solution est déconseillée lorsque la sédimentation est importante et rapide car cela conduit à réaliser de grands réservoirs aux coûts très élevés.

② La surélévation du barrage

Ce rehaussement se fait au bout d'un certain temps et permet d'augmenter le volume utile du barrage. La surélévation du barrage conduit à une augmentation de la surface du plan d'eau, d'où une évaporation importante.

④ la force vive des crues

C'est une méthode qui utilise la force vive du courant des eaux qui arrivent dans le réservoir lors des crues. L'ouverture des vannes abaisse le niveau de l'eau dans le barrage et entraîne une mise en vitesse importante. Cela permet de faire traverser le réservoir aux sédiments transportés mais également d'arracher quelques sédiments aux dépôts existants.

☞ Après l'envasement

① Le soutirage

Ce procédé consiste à dévaser le barrage pendant que celui-ci est en eau. Il s'agit d'une vidange de la vase liquide par des vannes de fond. Cela se limite seulement aux abords des vannes (zone de mise en vitesse).

② Le dragage

Il permet de curer le barrage par des moyens mécaniques. On distingue des dragues à benne preneuse et des dragues suceuses. La première catégorie consiste à faire descendre une benne au fond du barrage et à la faire remonter. La seconde aspire les sédiments non consolidés.

③ Le siphonage

C'est un dragage par succion naturelle. Il utilise la différence de charge entre l'amont et l'aval du barrage.

④ La chasse à retenue vide ou " chasse espagnole "

C'est la plus ancienne des méthodes de devasement. Elle est tout simple et consiste à laisser le cours d'eau éroder les dépôts dans les retenues non pérennes, en maintenant les vannes de fond ouvertes.

⑤ Le décapage

A l'aide des engins de Génie Civil, on décape la couche de sédiments dans le barrage lorsque celui-ci est à sec.

Il n'existe pas en réalité de méthode radicale de lutte contre l'envasement. Toutes les méthodes ci-dessus utilisées ne font que retarder l'échéance de la sédimentation. Les dépôts retirés des barrages posent un problème de stockage et de nos jours, plusieurs solutions sont mises en œuvre:

- *la formation de plages "naturelles" d'épandage dans les bassins limités par des gabions;*
- *l'utilisation des dépôts pour l'enrichissement en fines des terres cultivables;*
- *la confection des briques pour la construction....*

B- ETUDE DE CAS

I- Choix des sites

Afin de mener à bien l'étude de cas, cinq (5) barrages ont été choisis selon les critères suivants :

- L'existence de la documentation;
- La superficie du bassin versant;
- La pluviométrie;
- La formation géologique;
- La topographie du bassin versant.

Il s'agit d'avoir une gamme étendue de sites mais aussi des similitudes pour faire de meilleures comparaisons.

Au départ, nous disposons de 14 sites.

| Documentation | Inexistante | Assez-bien fournie | Bien fournie | Très bien fournie |
|---------------|-------------|--------------------|--------------|-------------------|
| Sites | | | | |
| Gouiné | | | × | |
| Itengué | | | | × |
| Kanazoé | × | | | |
| Louda | | | × | |
| Lumbila | | × | | |
| Nagréongo | | | | × |
| Ouaga n°1 | | | × | |
| Ouaga n°2 | | | × | |
| Ouaga n°3 | | | × | |
| Ouahigouya | × | | | |
| Salbisgo | | | × | |
| Tamassogo | | | × | |
| Tensobentenga | | × | | |
| Thiou | | | × | |

Tableau n°4 : Documentation

| Superficie (km ²) | < 100 | 100 - 200 | 200 - 300 | > 300 |
|--------------------------------|-------|-----------|-----------|-------|
| Sites | | | | |
| Gouinré | | x | | |
| Itengué | x | | | |
| Louda | | | | x |
| Nagréongo | x | | | |
| Ouaga n°1 | | | x | |
| Ouaga n°2 | x | | | |
| Ouaga n°3 | x | | | |
| Salbisgo | | x | | |
| Tamassogo | | x | | |
| Thiou | | | | x |

Tableau n°5 : Superficie des bassins versants.

NB: Pour tous les sites, les superficies des bassins versants sont inférieures à 400 km².

| Pluviométrie (mm) | 600 - 700 | 700 - 800 |
|---------------------|-----------|-----------|
| Sites | | |
| Gouinré | x | |
| Itengué | | x |
| Louda | x | |
| Nagréongo | | x |
| Ouaga n°1 | | x |
| Ouaga n°2 | | x |
| Ouaga n°3 | | x |
| Salbisgo | | x |
| Tamassogo | x | |
| Thiou | x | |

Tableau n°6 : Pluviométrie.

| Formation géologique | Migmatites et granites indifférenciés | Métasédiments argileux ou argilo-greux | Granite à biotite et muscovite | Volcano-sédimentaires tufs larves et sédiments associés |
|-----------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|---|
| Sites | | | | |
| Gouinré | | x | | |
| Itengué | | | x | |
| Louda | | | x | |
| Nagréongo | x | | | |
| Ouaga n°1 | x | | | |
| Ouaga n°2 | x | | | |
| Ouaga n°3 | x | | | |
| Salbisgo | x | | | |
| Tamassogo | x | | | |
| Thiou | | | | x |

Tableau n°7 : Formations géologiques.

| Relief | Plat et monotone | Peu accidenté | Accidenté | Très accidenté |
|---------------|------------------|---------------|-----------|----------------|
| Sites | | | | |
| Gouinré | | | | x |
| Itengué | | x | | |
| Louda | | | | x |
| Nagréongo | | x | | |
| Ouaga n°1 | x | | | |
| Ouaga n°2 | x | | | |
| Ouaga n°3 | x | | | |
| Salbisgo | | x | | |
| Tamassogo | | | x | |
| Thiou | | | x | |

Tableau n°8 : relief.

Par rapport à la documentation, on retiendra les barrages pour lesquels elle est bien et très bien fournie. Il s'agit de: Gouinré , Itengué, Louda, Nagréongo, Ouaga n°1, 2,3, Salbisgo, Tamassogo, Thiou.

Quand à la superficie, on choisira des "petits" ($S < 100 \text{ km}^2$), des "moyens" ($100 < S < 300 \text{ km}^2$) et des "grands" barrages ($S > 300 \text{ km}^2$).

On pourra d'ore et déjà rejeter le barrage n°3 de Ouaga qui n'a pas de bassin versant propre car il est entièrement endigué. Une étude menée par DIPAMA J. M. 1992 sur l'envasement des trois barrages de Ouaga a montré que celui du barrage n°3 est faible. Les dépôts solides de ce barrage proviennent des eaux de déversement du barrage n°2.

Rappelons que le barrage de Louda a déjà fait l'objet d'une étude d'envasement par GUINDO Ibrahima en 1997. Pour le présent mémoire, on ne retiendra que les résultats de cette étude.

En ce qui concerne la formation géologique, on choisira à priori les barrages de Gouinré, Itengué et Thiou qui permettent d'avoir une gamme étendue.

Le barrage de Salbisgo sera retenu à cause de la pluviométrie de la zone.

On ajoutera à cette liste le barrage n°2 de Ouaga et celui de Nagréongo qui ont beaucoup de similitudes, mais le principal intérêt de ce choix est que le barrage n°2 de Ouaga est urbain. Ce qui permettra de mieux apprécier les effets des activités humaines sur l'envasement des barrages.

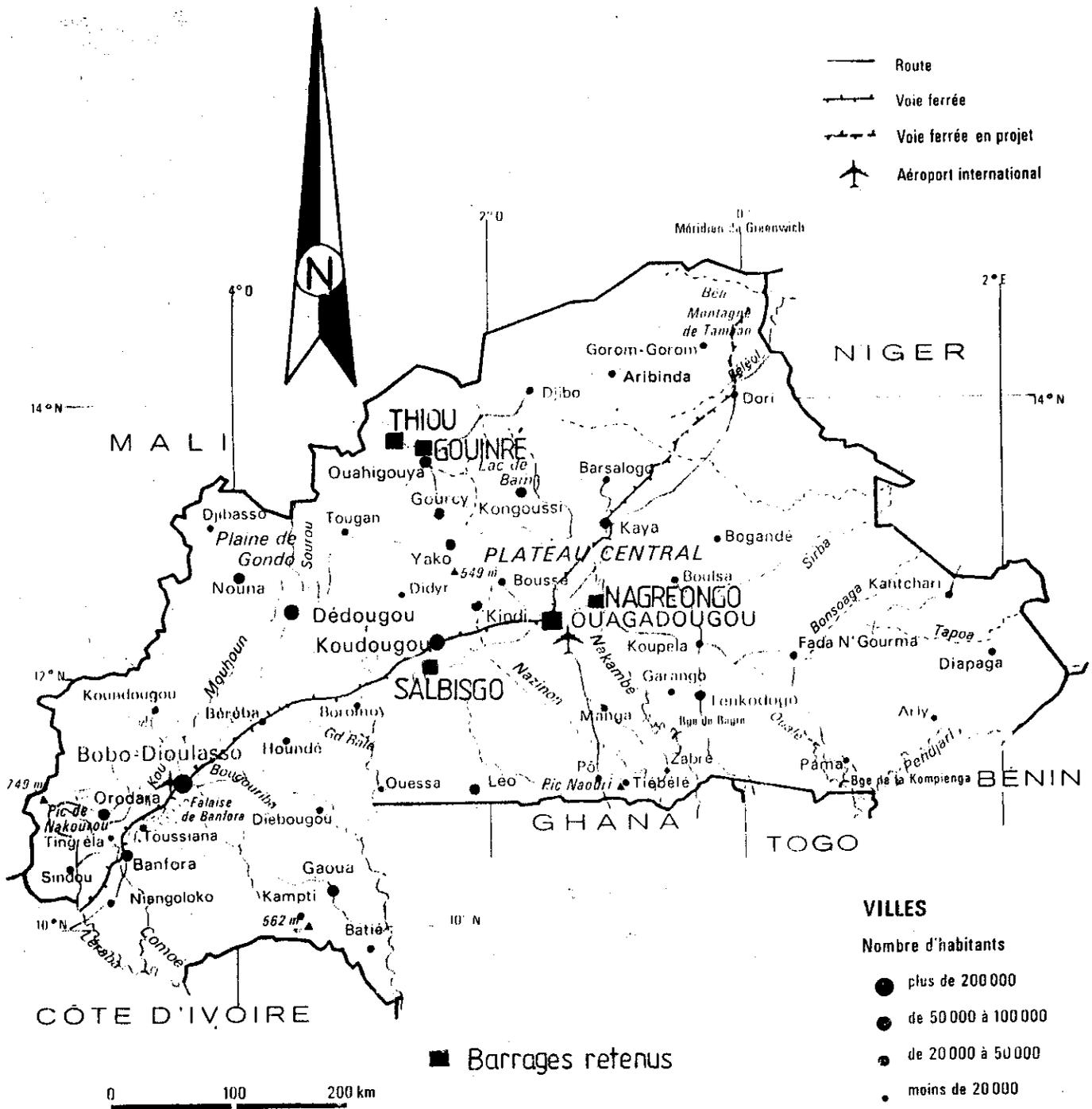
Ces choix permettent également de disposer d'une gamme variée de relief (plat, peu accidenté, accidenté et très accidenté).

Au cours de l'étude des différents cas, des incohérences se sont révélées dans les cotes du barrage de Itengué. Ce cas n'a pu être retenu pour la suite de l'étude.

Le choix définitif est donc: **Gouinré, Nagréongo, Ouaga n°2, Salbisgo, Thiou.**

La carte de la page suivante montre la répartition de ces sites.

ÉTUDE DE L'ENVAISEMENT DES BARRAGES AU BURKINA FASO : ÉTUDE DE CAS



Carte n°2 : Situation des 5 barrages choisis.

II- Méthodologie

Cette méthodologie ne concerne que l'étude de chaque cas pour aboutir à la détermination du volume d'envasement. Il s'agira dans un premier temps de donner :

- La situation géographique et l'itinéraire d'accès au site;
- Les caractéristiques hydrologiques du bassin versant;
- Une description du milieu physique (sols, végétation, relief) en s'appuyant sur les cartes, les photographies aériennes et les sorties sur le terrain.

On passera ensuite à l'application de la méthode topographique des courbes de niveau. Cela consistera principalement à :

- Replanimétrer les plans topographiques de la cuvette afin d'établir les tableaux hauteur-volume (initial et actuel). Il faut noter que dans la plupart des cas, ce travail a déjà été fait; le nôtre tient lieu de vérification.
- Tracer sur le même graphique, les courbes initiale et actuelle. Signalons que les nouveaux levés topographiques ont été effectués en faisant un rattachement au nivellement national du Burkina Faso; alors que les levés initiaux ont été faits avec des cotes relatives. Il a fallu donc choisir une cote de référence pour ramener les deux levés dans le même repère afin de pouvoir les tracer sur le même graphique. Cette cote de référence peut être celle du déversoir, de la digue, de l'ouvrage de prise ou de vidange. Mais il faut au préalable s'assurer sur le terrain que ceux-ci n'ont pas été modifiés entre temps.
- A déterminer sur ces deux courbes, à la cote du déversoir, les volumes :

$$V_{\text{initial}} \text{ et } V_{\text{actuel}}$$

On calcule le volume des dépôts solides : $V_{\text{dépôts}} = V_{\text{initial}} - V_{\text{actuel}}$.

Le volume annuel des dépôts solides est :

$$V_{\text{dépôts annuels}} = V_{\text{dépôts}} / (\text{date initiale} - \text{date actuelle})$$

NB: On négligera les prélèvements de matériaux effectués dans la cuvette par les populations riveraines; sauf dans les cas où cela devient très important (barrage n°2 de Ouagadougou). Par contre, on tiendra compte des grandes zones d'emprunt (barrage de Nagréongo).

La dégradation spécifique annuelle se calcule par :

$$D = V_{\text{dépôts annuels}} / \text{Superficie du bassin versant.}$$

On fera enfin pour chacun des sites, une étude diachronique de photo-interprétation qui permettra de mieux apprécier l'évolution des divers paramètres d'envasement.

III- Barrage de Gouinré

Situation et accès au site.

Le barrage de Gouinré, construit en 1967, est situé à 5 km au Nord de Ouahigouya, chef lieu de la province du Yatenga se trouvant à 182 km au Nord-Ouest de Ouagadougou.

Les coordonnées géographiques du site sont :

Longitude : 2°27'47" W
Latitude : 13°27'49" N

On y accède en empruntant la RN2 (Route Nationale 2) Ouahigouya-Thiou. A la sortie de la ville, on tourne à droite et on emprunte la piste Ouahigouya-Ban sur 3 km.

Caractéristiques hydrologiques.

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Superficie du bassin versant | = 151 km ² |
| Périmètre du bassin versant | = 47 km |
| Indice de compacité | = 1.078 |
| Forme du bassin versant | = Ovalo-circulaire |
| Pente moyenne longitudinale | = 2 % |
| Classe de relief | = R4P3 |
| Régime du bassin versant | = Sahélien et subdésertique |
| Pluviométrie moyenne annuelle | = 619 mm , Ke = 0.025 |
| Aspect du réseau hydrographique | = Digité |
| Longueur du marigot principal | = 20 km |

Sols

Pour tous les sites, les unités géologiques et pédologiques ont été déterminées à l'aide de :

- Carte géologique 1/1000 000^e du Burkina Faso.
- Cartes pédologiques de reconnaissance 1/500 000^e de la République de Haute-Volta.

La géologie du bassin versant du barrage de Gouinré est composée de métasédiments argileux ou argilo-greux.

Quant à la pédologie, elle est constituée de quatre (4) types de sols qui sont :

- Sols minéraux bruts qui sont des lithosols sur cuirasses ferrugineuses. Ces sols sont les plus répandus et couvrent environ 60% du bassin.

- Sols peu évolués sur matériau gravillonnaire associés à des lithosols sur cuirasses ferrugineuses.
- Sols ferrugineux tropicaux dominés par des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur. Ces sols sont associés dans des proportions variant entre 20% et 49%, à des sols bruns eutrophes sur matériaux argileux issus de roches basiques.
- Sols hydromorphes qui sont des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley dominés par des sols à taches et concrétions ainsi que par des sols hydromorphes à pseudogley structurés. Ils sont associés à des sols ferrugineux peu lessivés sur sables éoliens ou sur sables fins argileux.

Les trois derniers types de sols sont peu répandus (10 à 15% de la superficie du bassin versant) et sont assez dispersés.

Végétation

La végétation est de type savane soudano-sahélienne arborée. Elle est dans l'ensemble dégradée. Le tapis herbacé se compose essentiellement de Andropogon gayanus et de Loudetia togoensis.

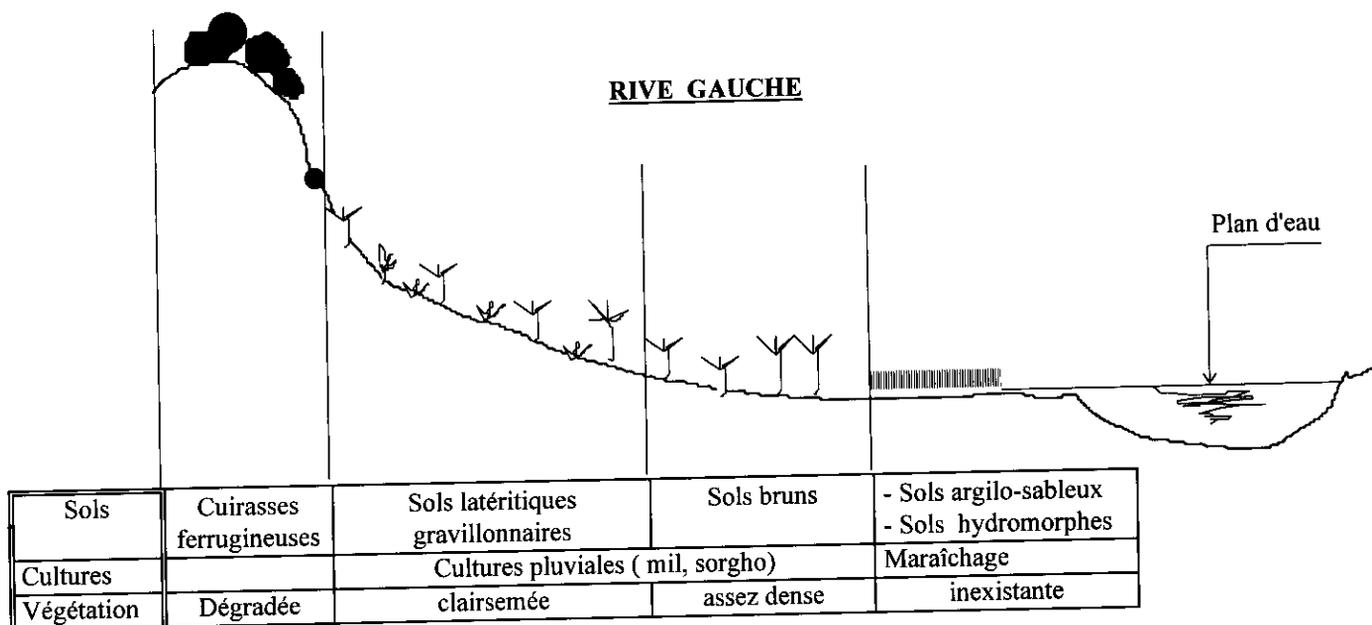
L'étage arbustif comprend les espèces suivantes:

- Khaya senegalensis (Caïlcédrat),
- Tamarindus indica (Tamarinier),
- Acacia albida (Acacia),
- Diospyros mespiliformis (Faux ébénier, kaki de brousse),
- Sclerocarya birrea (Prunier d'Afrique),
- Butyrospermum paradoxum (Karité),
- Adansonia digitata (Baobab),
- Mitragyna inermis (Famille des rubiacées),
- Acacia nilotica (Acacia),
- Ficus sycomorus (Figuier),
- Xinania americana (Mirabellier du désert),
- Lannea microcarpa (Raisinier),
- Azadirachta indica (nimier),

Relief

Le relief est accidenté. On note la présence de collines et de beaucoup de traces d'érosion ainsi que des escarpements.

Transect simplifié



Courbe hauteur-volume initiale (1967)

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----|-------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Cote (m) | 321 | 321.5 | 322 | 322.5 | 323 | 323.5 | 324 | 324.5 | 325 | 325.5 | 326 | 326.5 | 327 |
| Volume (Mm³) | 0 | 0.04 | 0.2 | 0.55 | 1.20 | 2.25 | 3.75 | 5.75 | 8.34 | 11.56 | 15.39 | 19.88 | 25.05 |

Nouvelle courbe hauteur-volume (1996)

| | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| Cote (m) | 322 | 322.5 | 323 | 323.5 | 324 | 324.5 | 325 |
| Volume (Mm³) | 0.046 | 0.30 | 0.82 | 1.7 | 3.05 | 5.02 | 7.68 |

La cote du déversoir est 326.50 m.

(Voir page suivante pour le tracé des courbes).

BARRAGE DE GOJINRE

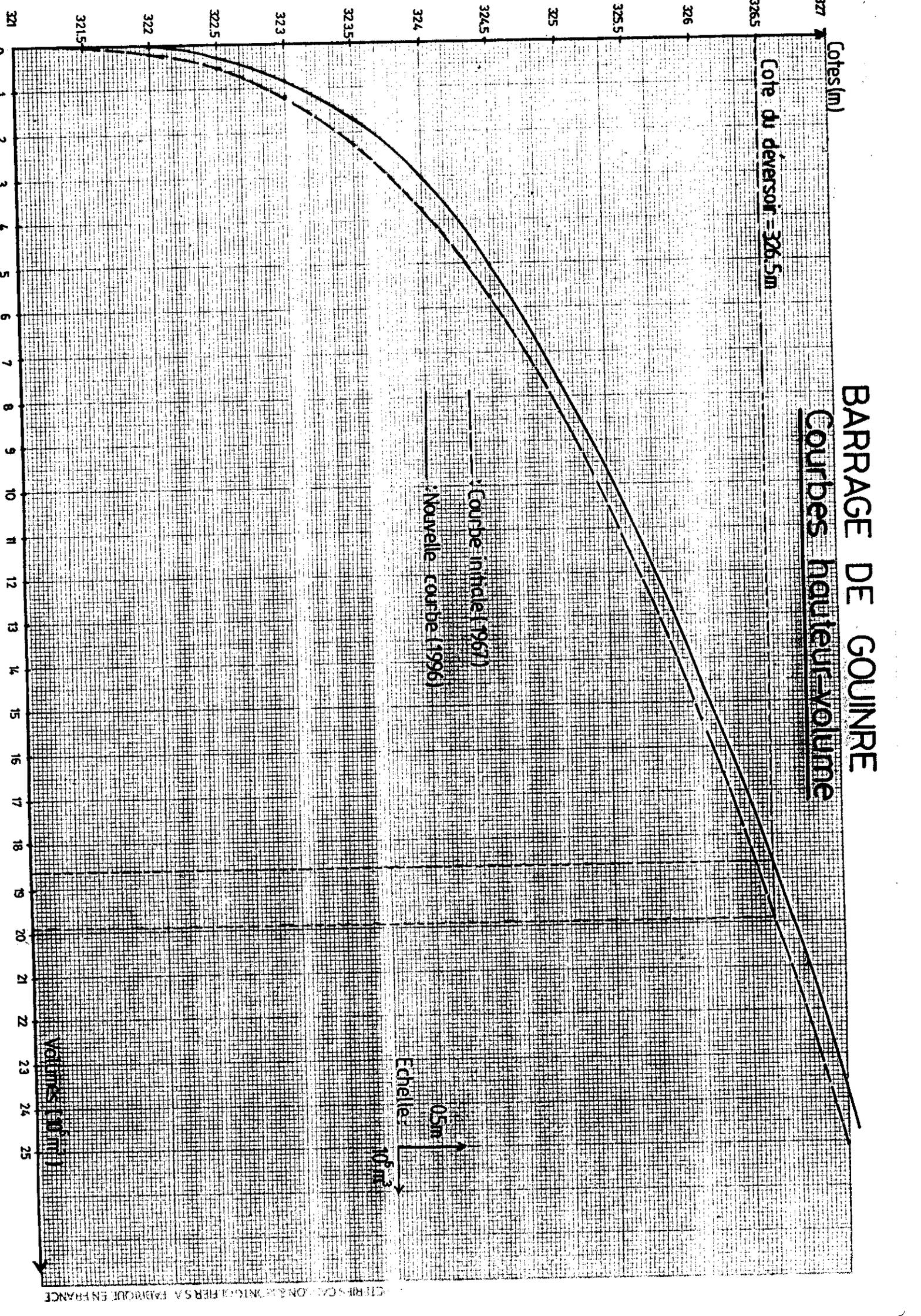
Courbes hauteur-volume

Cote du déversoir = 326.5m

— Courbe initiale (1967)
- - - Nouvelle courbe (1996)

Echelle:
0.5m
10⁶ m³

Volumes (10⁶ m³)



Détermination de l'envasement

Après avoir tracé les deux courbes, on détermine à la cote du déversoir les volumes suivants qui correspondent à la capacité du barrage aux deux dates :

$$V_{1967} = 19.88 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{1996} = 18.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

La différence entre ces deux volumes nous donne la perte de capacité du barrage. Soit un volume $V_{\text{dépôts}} = 1.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ qui représente 6.5% de perte de la capacité initiale.

Le volume annuel de dépôts solides est :

$$V_{\text{dépôts annuels}} = V_{\text{dépôts}} / (1996 - 1967) = 44 \ 138 \text{ m}^3.$$

On calcule donc la dégradation spécifique annuelle (D):

$$D = V_{\text{dépôts annuels}} / S \quad \text{avec} \quad S = 151 \text{ km}^2$$

⇒

| |
|---|
| $D = 292 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ |
|---|

IV- Barrage de Nagréongo

Situation et accès au site

Le barrage de Nagréongo, construit en 1968, se trouve au Nord du village de Nagréongo. Il est situé dans la province d'Oubritenga dont le chef lieu est Ziniaré.

Les coordonnées géographiques du site sont :

Longitude : 1°10'21" W
 Latitude : 12°29'36" N

L'accès au site du barrage se fait à partir de Ouagadougou par la RN4 Ouaga-Fada. Une fois à Linoghin, on tourne à gauche en empruntant une piste qui conduit au barrage. La distance totale Ouaga-Nagéongo est d'environ 45 km.

Historique

Un premier barrage a été construit par les populations en 1963. Ce barrage a été entièrement emporté en 1966. En 1968, un autre barrage, cette fois-ci étudié, a été construit par le Génie Rural avec un déversoir central de type craeger à la cote 97.70 m. En 1985, le barrage a été réfectionné en augmentant sa capacité. La nouvelle cote du déversoir est de 98.60 m.

Caractéristiques hydrologiques

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| Superficie du bassin versant | = 72 km ² |
| Périmètre du bassin versant | = 37 km |
| Indice de compacité | = 1.2 |
| Forme du bassin versant | = Peu allongée |
| Pente moyenne longitudinale | = 0.5% |
| Classe de relief | = R3P3 |
| Régime du bassin versant | = Tropical |
| Pluviométrie moyenne annuelle | = 754 mm, Ke = 2% |
| Aspect du réseau hydrographique | = digité |
| Longueur du rectangle équivalent | = 12.9 m |

Sols

La géologie du site se compose de migmatites et de granites indifférenciés. Sur le plan pédologique, on rencontre trois (3) types de sols à savoir :

- Vertisols et paravertisols qui sont des vertisols modaux sur matériau argileux gonflant.

Ces sols représentent environ 30% de la superficie totale du bassin versant, et se localisent surtout au Nord.

- Sols minéraux bruts dominés par des lithosols qui sont associés à des sols à pseudogley hérité à taches et concrétions sur matériau argilo-sableux bigarré et sols peu évolués hydromorphes sur matériau gravillonnaire. Ils sont repartis sur les parties Centre, Est et Sud du bassin. Ils occupent environ 50% de sa superficie.
- Sols peu évolués dominés par des sols peu évolués hydromorphes et un faciès modal sur matériau gravillonnaire. Ces sols sont associés à des lithosols sur cuirasses ferrugineuses. Ils se rencontrent dans l'Ouest du bassin et représentent environ 20% de la superficie.

Végétation

Le site appartient à la zone intermédiaire de savane arborée au Sud et de savane arbustive au Nord.

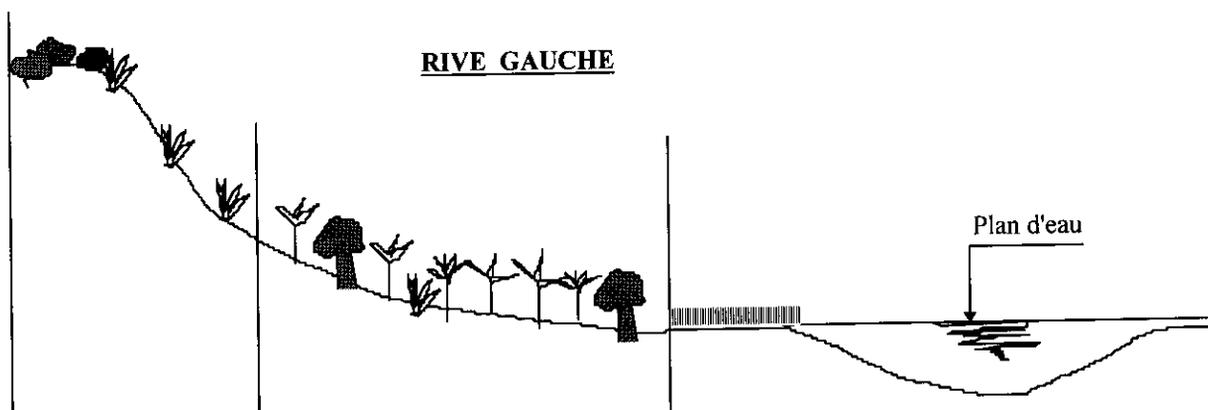
On y rencontre principalement les espèces suivantes :

- Sclerocarya birrea (Prunier d'Afrique),
- Diospyros mespiliformis (Faux ébénier, kaki de brousse),
- Anogeissus leiocarpus (Bouleau d'Afrique),
- Tamarindus indica (Tamarinier),
- Detarium microcarpum (famille des cesalpiniacées),
- Acacia seyal (Acacia),
- Adansonia digitata (Baobab),
- Parkia biglobosa (Néré),
- Lannea microcarpa (Raisinier).

Relief

Le relief est très peu accidenté avec la présence de quelques escarpements dus à l'action de l'eau et de rares collines.

Transect simplifié



| | | | |
|----------|-------------------------|---|-------------------|
| Sols | Cuirasses ferrugineuses | Limono-argileux et argilo-sableux sur matériau gravillonnaire | Sols hydromorphes |
| Cultures | | Pluviales (mil, sorgho) | Maraîchage |
| Végétat° | Dégradée | Assez dense | Dense |

Courbe hauteur-volume initiale (1968)

| | | | | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Cote (m) | 270.94 | 271.94 | 272.94 | 273.94 | 274.94 | 275.94 |
| Volume (Mm ³) | 0 | 0.015 | 0.175 | 0.625 | 1.345 | 2.225 |

Nouvelle courbe hauteur-volume (1996)

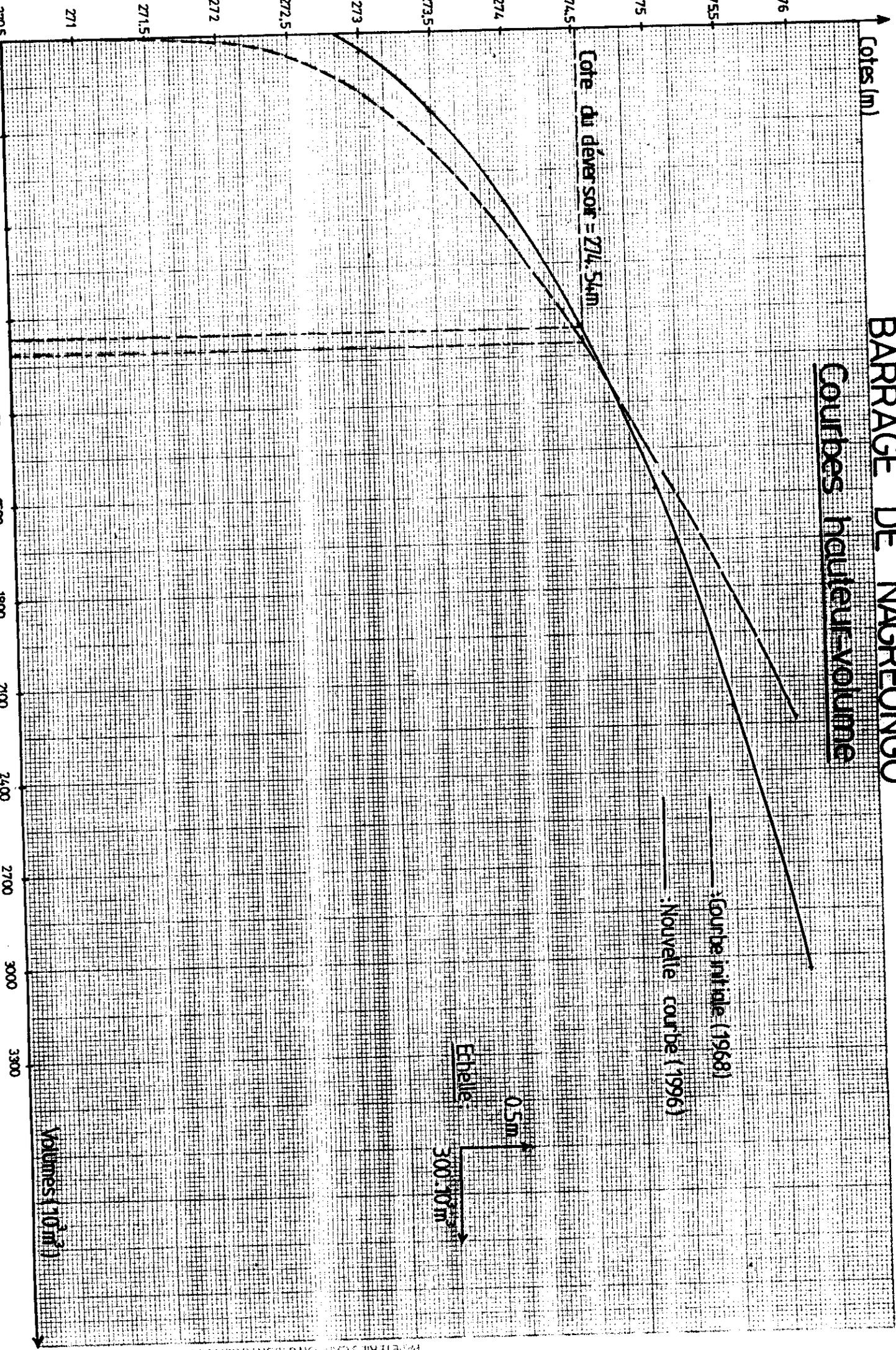
| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cote (m) | 273 | 273.5 | 274 | 274.5 | 275 | 275.5 | 276 |
| Volume (Mm ³) | 0.061 | 0.255 | 0.549 | 0.945 | 1.479 | 2.189 | 3.042 |

Cote du déversoir = 274.54 m.

(Se référer à la page suivante pour le tracé des courbes).

BARRAGE DE NAGREONGO

Courbes hauteur-volume



Détermination de l'envasement

Sur les courbes hauteur-volume, on détermine les volumes suivants :

$$V_{1968} = 1\ 012\ 500\ m^3$$

$$V_{1996} = 950\ 000\ m^3$$

Ce qui donne un volume de dépôts solides $V_{\text{dépôts}} = V_{1968} - V_{1996} = 52\ 500\ m^3$.
Soit une perte de 5% de la capacité initiale.

La reconnaissance de terrain a permis d'identifier une zone d'emprunt dans la cuvette de dimensions 200m*50m*1m. Soit un volume de 10 000 m³. Ajouté au volume trouvé plus haut, cela donne un volume de dépôts de 62 500 m³.

Le volume d'envasement annuel vaut :

$$V_{\text{dépôts annuels}} = V_{\text{dépôts}} / (1996-1968) = 2232\ m^3.$$

On calcule la dégradation spécifique :

$$D = V_{\text{dépôts annuels}} / S \text{ avec } S = 72\ km^2.$$

⇒

| |
|---|
| D = 31 m³/km²/an |
|---|

V- Barrage n°2 de Ouagadougou

Localisation et présentation

Le barrage n°2, construit en 1962, se trouve entre les retenues n°1 et n°3 de la ville de Ouagadougou. Il relie les quartiers très dense de Paspanga et Dapoya au Sud, à celui de Tanguin au Nord. Compte tenu de son caractère urbain, le bassin versant du barrage n°2 fait l'objet de beaucoup d'activités humaines. On peut citer : Le jardinage, les vergers, la confection des briques, l'agriculture, la construction d'habitations, etc...

Le barrage reçoit une grande partie des eaux usées de la ville de Ouagadougou.

Les coordonnées géographiques du site sont :

Longitude : 1°30' W

Latitude : 12°23' N

Caractéristiques hydrologiques

| | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Superficie du bassin versant | = 65 km ² |
| Périmètre du bassin versant | = 36 km |
| Indice de compacité | = 1.25 |
| Forme du bassin versant | = Allongée |
| Pente moyenne longitudinale | = 0.3% |
| Classe de relief | = R ₂ P ₂ |
| Régime du bassin versant | = Tropical de transition |
| Pluviométrie moyenne annuelle | = 754 mm |
| Aspect du réseau hydrographique | = Dendritique dissymétrique |
| Longueur maxi du cours d'eau | = 20 km |
| Longueur du rectangle équivalent | = 13 m |

Sols

La géologie du bassin versant est constituée d'un substratum imperméable de granite-gneiss précambrien qui est recouvert d'une épaisse couche d'altération latéritique. Les roches dominantes sont les roches cristallines (Granites, migmatites).

La pédologie est constituée en grande partie de sols hydromorphes qui sont des sols à pseudogley dominés par des sols à taches et concrétions, et des sols à pseudogley hérité sur matériau argilo-sableux bigarré. Ces sols sont associés uniquement à des lithosols sur cuirasses ferrugineuses et à des sols ferrugineux tropicaux remaniés sur matériau argilo-sableux en profondeur.

Végétation

Le bassin versant du barrage n°2 de Ouagadougou appartient à la zone de transition entre la savane arborée au Sud et la savane arbustive au Nord.

Le tapis herbacé est formé de plusieurs strates dont les espèces essentielles sont :

- Andropogon pseudopricus amplexans ou gayanus,
- Berinicetum pedicellatum,
- Dactyloctenium aegyptium,
- Eragrostis tremula ou ciliaris,
- Schoenefeldia gracilis,
- Loudetia simplex ou togoensis.

L'étage arbustif se maintient aux environs de sept (7) à huit (8) mètres. Les espèces typiques sont :

- Anogoessus leiocarpus (Bouleau d'Afrique),
- Pterocarpus lucens (Famille des fabacées),
- Butyrospermum parkii (Karité),
- Parkia biglobosa (Néré),
- Bombax costatum (Kapotier),
- Ziziphus mauritana (Jujubier),
- Tamarindus indica (Tamarinier),
- Acacia albida (Acacia),
- Lannea microcarpum (Raisinier),
- Sclerocarya birrea (Prunier d'Afrique),
- Borassus ethiopum (Rônier),
- Kaya senegalensis (Caillédraat).

Ces peuplements naturels ont été détruits par l'homme et aujourd'hui, on rencontre surtout des espèces fruitières et ornementales telles que :

- Delonix regia,
- Manguifera indica (Manguier)
- Eucalyptus camaldulensis (Famille des myrtacées),
- Azadirachia indica (Nimier).

La végétation, compte tenu de la pression démographique et des aléas climatiques, est dans son ensemble dégradée malgré les quelques efforts de reboisement.

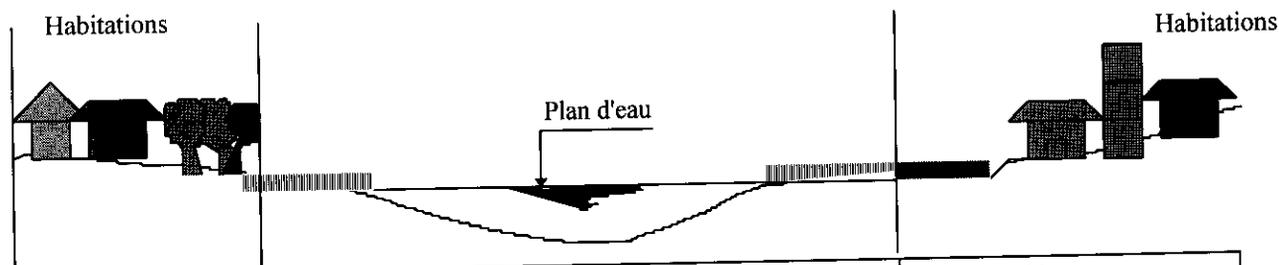
Relief

Le relief est plat et monotone en général; d'où le nom de "plateau central" ou "plateau mossi". On rencontre néanmoins quelques buttes qui constituent les sommets et les lignes de partage des eaux.

Transect simplifié

RIVE GAUCHE

RIVE DROITE



| | | | | |
|----------|---|--------------|------------|---|
| Sols | - Argilo-sableux - Cuirasses ferrugineuses | Hydromorphes | | - Argilo-sableux - Cuirasses ferrugineuses |
| Cultures | Vergers | Maraîchage | Maraîchage | Jardinage |
| Végétat° | Clairsemée | Dégradée | | Clairsemée |

Courbe hauteur-volume initiale (1962)

| | | | | | | | | |
|--|-----|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Cote (m) | 284 | 284.5 | 285 | 285.5 | 286 | 286.5 | 287 | 287.5 |
| Volume (10 ³ m ³) | 0 | 51.72 | 172.41 | 422.41 | 801.72 | 1336.21 | 2103.45 | 3017.24 |

Nouvelle courbe hauteur-volume (1997)

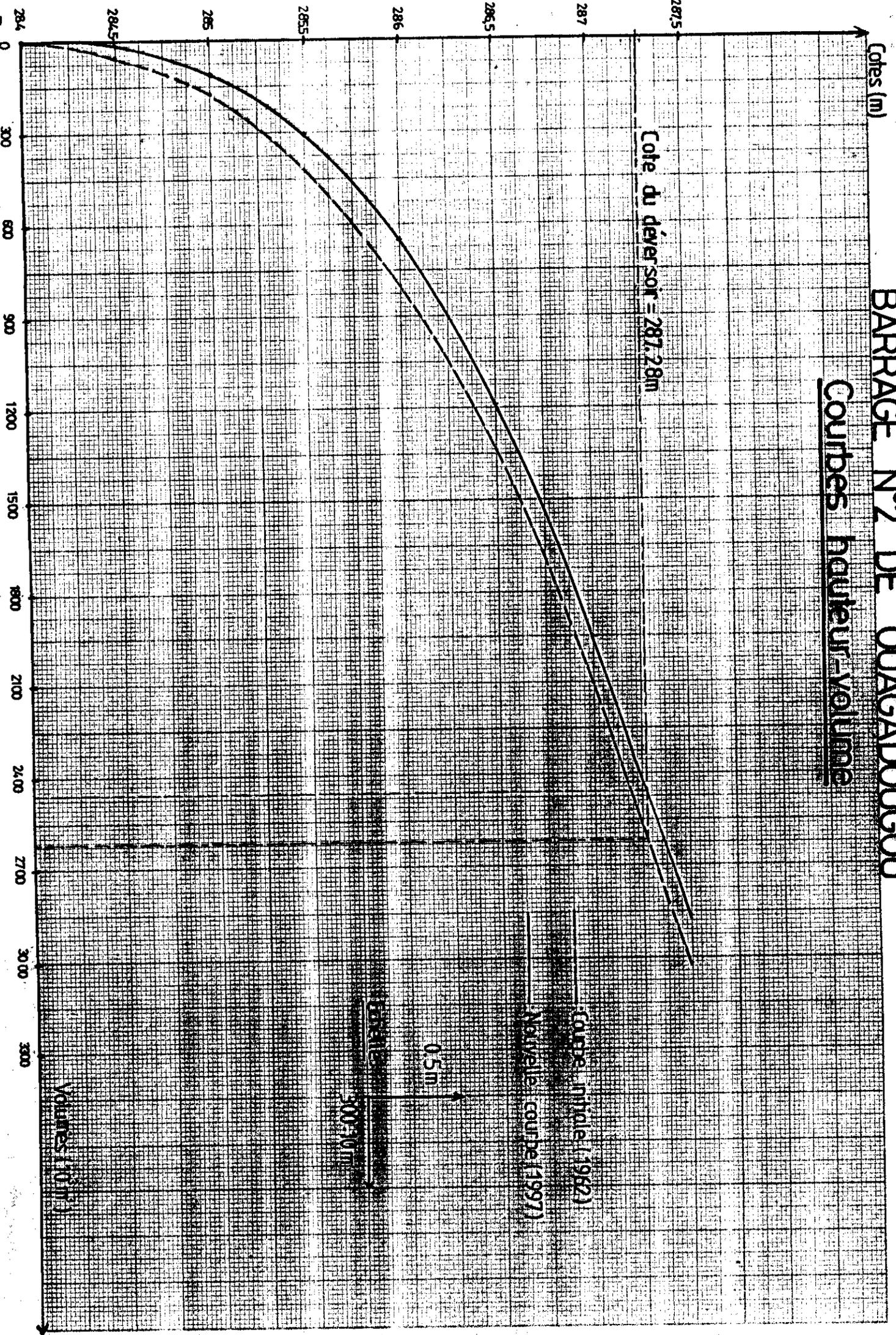
| | | | | | | | | |
|--|-----|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Cote (m) | 284 | 284.5 | 285 | 285.5 | 286 | 286.5 | 287 | 287.5 |
| Volume (10 ³ m ³) | 0 | 16.16 | 109.61 | 310.11 | 649.86 | 1189.36 | 1954.86 | 2866.21 |

Cote du déversoir = 287.28 m.

(Voir page suivante pour le tracé des courbes).

BARRAGE N°2 DE OUAGADOUGOU

Courbes hauteur-volume



Détermination de l'envasement

A partir des courbes hauteur-volume, on détermine les volumes suivants :

$$V_{1962} = 2\,617\,500 \text{ m}^3$$

$$V_{1997} = 2\,460\,000 \text{ m}^3$$

Le volume de dépôts solides est :

$V_{\text{dépôts}} = V_{1962} - V_{1997} = 157\,500 \text{ m}^3$. Soit une perte de 6% de la capacité initiale.

On calcule le volume annuel de dépôts solides :

$$V_{\text{dépôts annuels}} = V_{\text{dépôts}} / (1997-1962) = 4\,500 \text{ m}^3.$$

D'après une étude menée par DIPAMA J. M. 1992, on estime à environ 1 500 m³ le volume des prélèvements effectués chaque année dans la cuvette du barrage n°2 par les populations riveraines.

On a donc $V_{\text{dépôts annuels}} = 4\,500 + 1\,500 = 6\,000 \text{ m}^3$.

La dégradation spécifique annuelle vaut :

$$D = 6\,000 \text{ m}^3 / 65 \text{ km}^2$$

⇒

| |
|--|
| $D = 92 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ |
|--|

VI- Barrage de Salbisgo

Situation et accès au site

Le barrage est situé à environ 9 km de Koudougou, chef lieu de la province du Boulkiemdé. Le barrage se trouve dans le village de Salbisgo. Il est construit en 1961.

On y accède à partir de Ouagadougou en empruntant la RN1 jusqu'à Koudougou. On emprunte ensuite l'axe Koudougou-Sabou sur 5 km. On tourne enfin à droite en empruntant une piste sur 4 km qui conduit au barrage.

Caractéristiques hydrologiques

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Superficie du bassin versant | = 160 km ² |
| Périmètre du bassin versant | = 58 km |
| Indice de compacité | = 1.3 |
| Forme du bassin versant | = Très allongée |
| Pente moyenne longitudinale | = 2 ‰ |
| Classe de relief | = P3R2 |
| Pluviométrie moyenne annuelle | = 760 mm , Ke = 0.05 |
| Aspect du réseau hydrographique | = digité |
| Longueur maxi du cours d'eau | = 18 km |
| Longueur du rectangle équivalent | = 21.6 m |
| Orientation du bassin versant | = Nord-Est, Sud-Ouest |

Sols

Le bassin versant du barrage de Salbisgo appartient à la même formation géologique que ceux de Nagréongo et de Ouagadougou composée essentiellement de migmatites et de granites indifférenciés.

Les unités pédologiques se composent de trois (3) types de sols :

- Sols minéraux bruts qui sont des lithosols sur cuirasses ferrugineuses. Ils sont très peu étendus (environ 10% de la superficie du bassin versant) et se concentrent dans la partie Ouest.
- Sols peu évolués dominés par un faciès modal sur matériau gravillonnaire qui sont associés à des lithosols sur cuirasses ferrugineuses. Ces sols se localisent au Sud du bassin et représentent environ 15% de sa surface.
- Sols hydromorphes qui sont des sols à pseudogley dominés par des sols à taches et concrétions, et des sols à pseudogley hérité sur matériau argilo-sableux bigarré.

Ces sols sont associés soit à des lithosols sur cuirasses ferrugineuses, soit à des sols peu évolués hydromorphes sur matériau gravillonnaire, ou à des sols ferrugineux tropicaux remaniés sur matériau argilo-sableux en profondeur.

Ce type de sol est le plus répandu. Il occupe environ 75% du bassin versant et se rencontrent dans les parties Centre, Nord et Est.

Végétation

La végétation est de type savane arborée avec un tapis herbacé assez dégradé composé de Loudetia togoensis et de Combretum micranthum (Combretum à petites fleurs).

Les principaux arbres qu'on y rencontre sont :

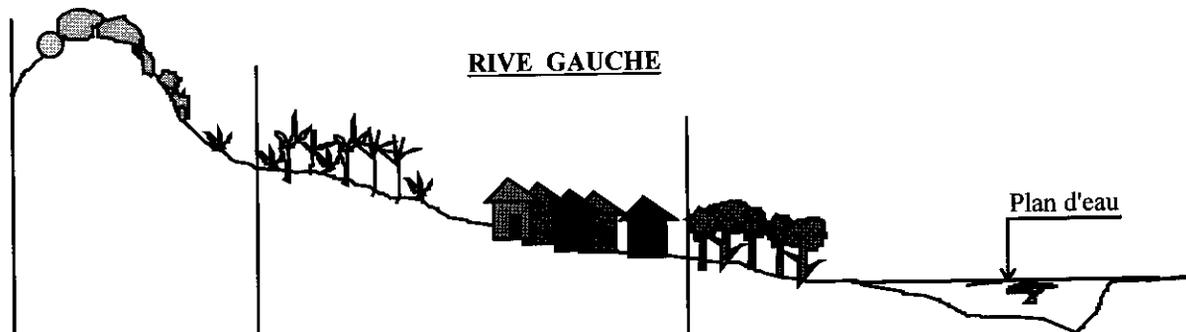
- Khaya senegalensis (Caïlcédrat),
- Butyrospermum paradoxum (Karité),
- Balanites aegyptiaca (Datier du désert),
- Detarium microcarpum (Famille des cesalpiniacées),
- Sclerocarya birrea (Prunier d'Afrique),
- tamarindus indica (Tamarinier),
- Anogeissus leiocarpus (Bouleau d'Afrique),
- Piliostigma reticulatum (Piliostigma réticulé),
- Mangifera indica (Manquier).

Sur le terrain, on note beaucoup de traces de feux de brousse qui contribuent fortement à la dégradation du couvert végétal.

Relief

Le relief est peu accidenté avec la présence de quelques collines.

Transect simplifié



| | | | |
|--------------------|--------------------------|--|---|
| Sols | Cuirasses ferrugineuses. | - Sols latéritiques gravillonnaires. - Sols limono-sableux à limono-argileux. | - Sols hydromorphes sur matériau gravillonnaire. - Lambeaux de cuirasses dans la zone de marnage dus à l'induration. |
| Utilisation | | Mil, sorgho | Habitations |
| Végétation | Dégradée | Assez dense | Dense |

Courbe hauteur-volume initiale (1961)

| | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cote (m) | 274.9 | 275.9 | 276.9 | 277.9 | 278.4 | 278.9 |
| Volume (10³ m³) | 0 | 68 | 740 | 2 258 | 3 400 | 4 800 |

Nouvelle courbe hauteur-volume (1997)

| | | | | | | | | | |
|--|-------|-----|--------|--------|--------|------|--------|---------|--------|
| Cote (m) | 275.5 | 276 | 276.5 | 277 | 277.5 | 278 | 278.5 | 279 | 279.5 |
| Volume (10³ m³) | 0 | 56 | 309.75 | 792.25 | 1493.5 | 2421 | 3626.5 | 5117.75 | 6916.5 |

Cote du déversoir = 278.4 m.

(Voir page suivante pour le tracé des courbes).

Cotes(m)

BARRAGE DE SALBISGO

Courbes hauteur-volume

Cote du déversoir = 278.4m

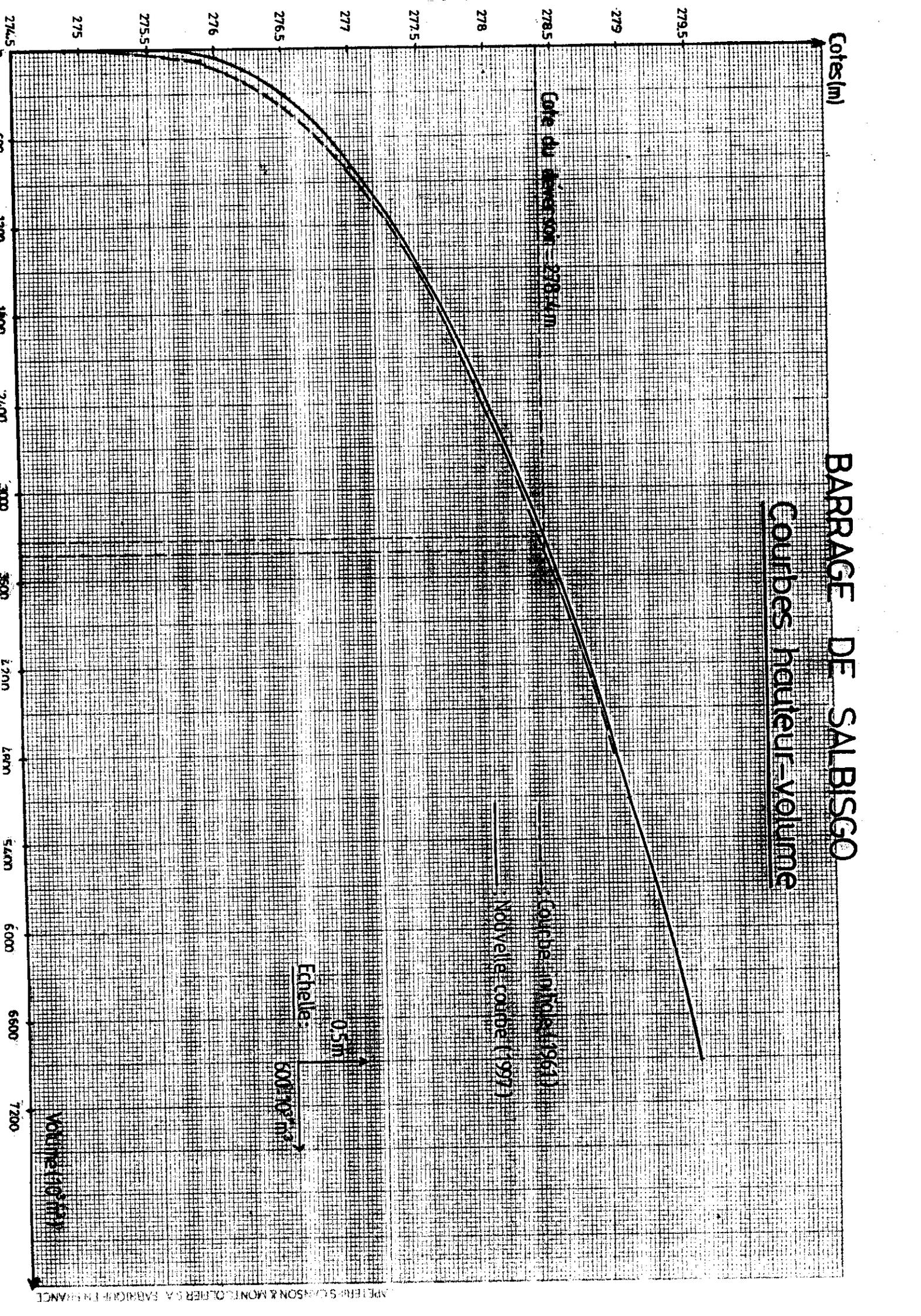
— Courbe (M.M.A.S. (1964))

— Nouvelle courbe (1977)

Echelle: 0.5m

600 (10⁶ m³)

Volume (10⁶ m³)



Détermination de l'envasement

Les différents volumes déterminés sur le graphique sont :

$$V_{1961} = 3\,420\,000 \text{ m}^3$$

$$V_{1997} = 3\,330\,000 \text{ m}^3$$

Le volume des dépôts solides est : $V_{\text{dépôts}} = V_{1961} - V_{1997} = 90\,000 \text{ m}^3$. Ce qui représente une perte d'environ 3% de la capacité initiale.

Le volume annuel de dépôts solides vaut donc :

$$V_{\text{dépôts annuels}} = V_{\text{dépôts}} / (1997-1961) = 2\,500 \text{ m}^3$$

On calcule la dégradation spécifique annuelle :

$$D = V_{\text{dépôts annuels}} / S \quad \text{avec} \quad S = 160 \text{ km}^2$$

⇒

$$D = 16 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

VII- Barrage de Thiou

Situation et accès au site

Le barrage, construit en 1981, se trouve dans le village de Thiou à 36 km de Ouahigouya chef lieu de la province du Yatenga. La distance totale Ouaga-Thiou est d'environ 218 km.

On accède au barrage à partir de Ouaga, en empruntant la RN2 qui passe par Ouahigouya jusqu'à Thiou.

Les coordonnées géographiques du site sont :

Longitude : 2°39' W
 Latitude : 13°49' N

Caractéristiques hydrologiques

| | |
|---------------------------------|-----------------------|
| Superficie du bassin versant | = 328 km ² |
| Périmètre du bassin versant | = 69 km |
| Indice de compacité | = 1.07 |
| Forme du bassin versant | = circulaire |
| Pente moyenne longitudinale | = 1% |
| Classe de relief | = P3R4 |
| Pluviométrie moyenne annuelle | = 619 mm , Ke = 0.7 |
| Aspect du réseau hydrographique | = dendritique simple |
| Longueur du marigot principal | = 28 km |

Sols

La géologie du bassin versant du barrage de Thiou se compose de roches volcano-sédimentaires, de tufs, larves et sédiments associés.

On retrouve les mêmes types de sols que sur le bassin versant du barrage de Gouinré.

Végétation

La végétation est de type savane soudano-sahélienne arborée. Elle est composée essentiellement des espèces suivantes :

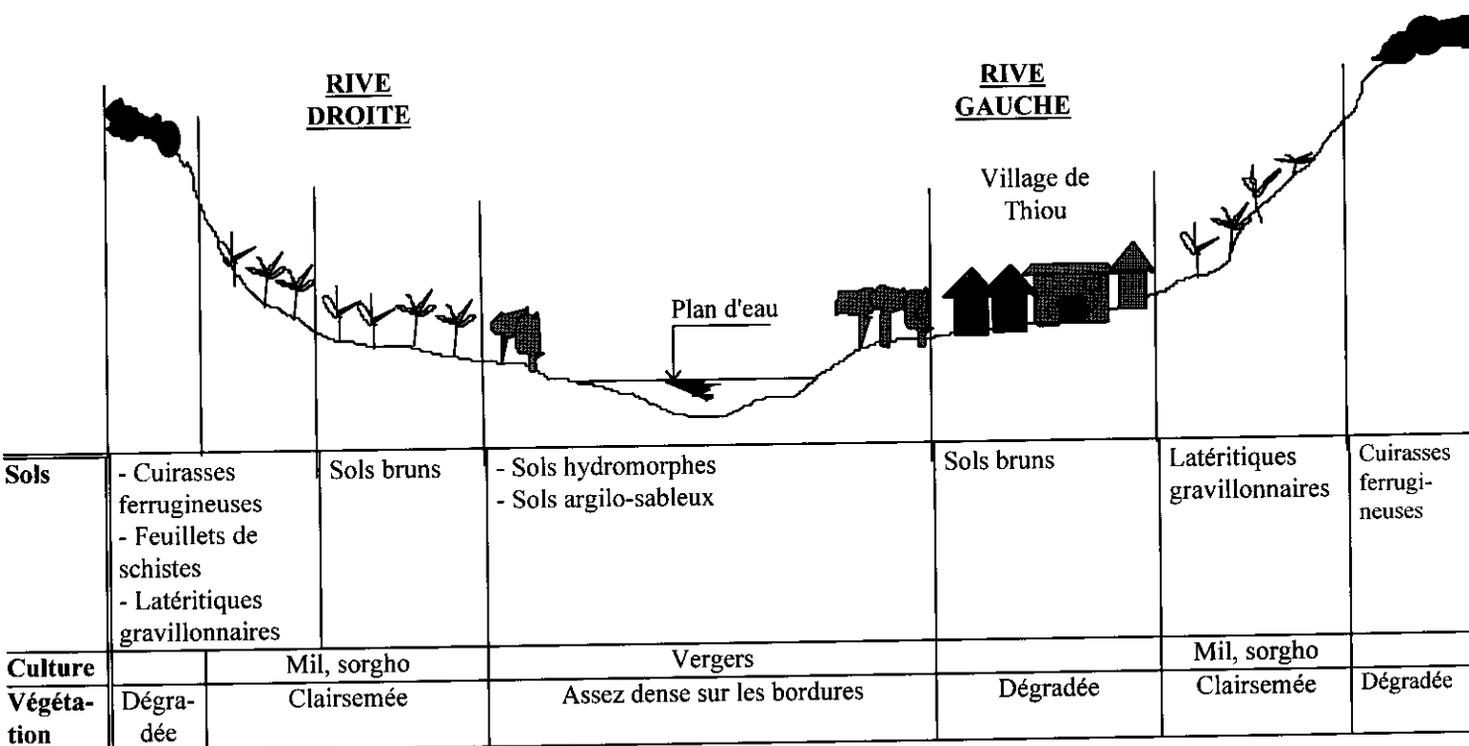
- Combretum micranthum;
- Loudetia togoensis;
- Acacia albida (Acacia);

- Tamarindus indica (Tamarinier);
- Sclerocarya birrea (Prunier d'Afrique);
- Piliostigma reticulatum (Piliostigma réticulé);
- Capparis corymbosa (Câprier tomenteux);
- Azadirachta indica (Nimier);
- Lannea microcarpa (Raisinier).

Relief

Le relief est très accidenté avec des chaînes de collines et d'importants escarpements.

Transect simplifié



Courbe hauteur-volume initiale (1981)

| | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Cote (m) | 295.05 | 295.5 | 296 | 296.5 | 297 | 297.5 | 298 | 298.5 | 299 |
| Volume (10³m³) | 0 | 40.05 | 190.55 | 501.8 | 1055.6 | 1909.3 | 3105.45 | 4665.3 | 633.04 |

Nouvelle courbe hauteur-volume (1989)

| | | | | | | | | |
|---|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Cote (m) | 296 | 296.5 | 297 | 297.5 | 298 | 298.5 | 299 | 299.5 |
| Volume (10³m³) | 0 | 124.3 | 524.7 | 1469.8 | 3052.2 | 5074.7 | 7630.7 | 10659.2 |

Cote du déversoir = 298 m.

(Voir page suivante pour le tracé des courbes).

Cotes(m)

BARRAGE DE THIOU

Courbes hauteur-volume

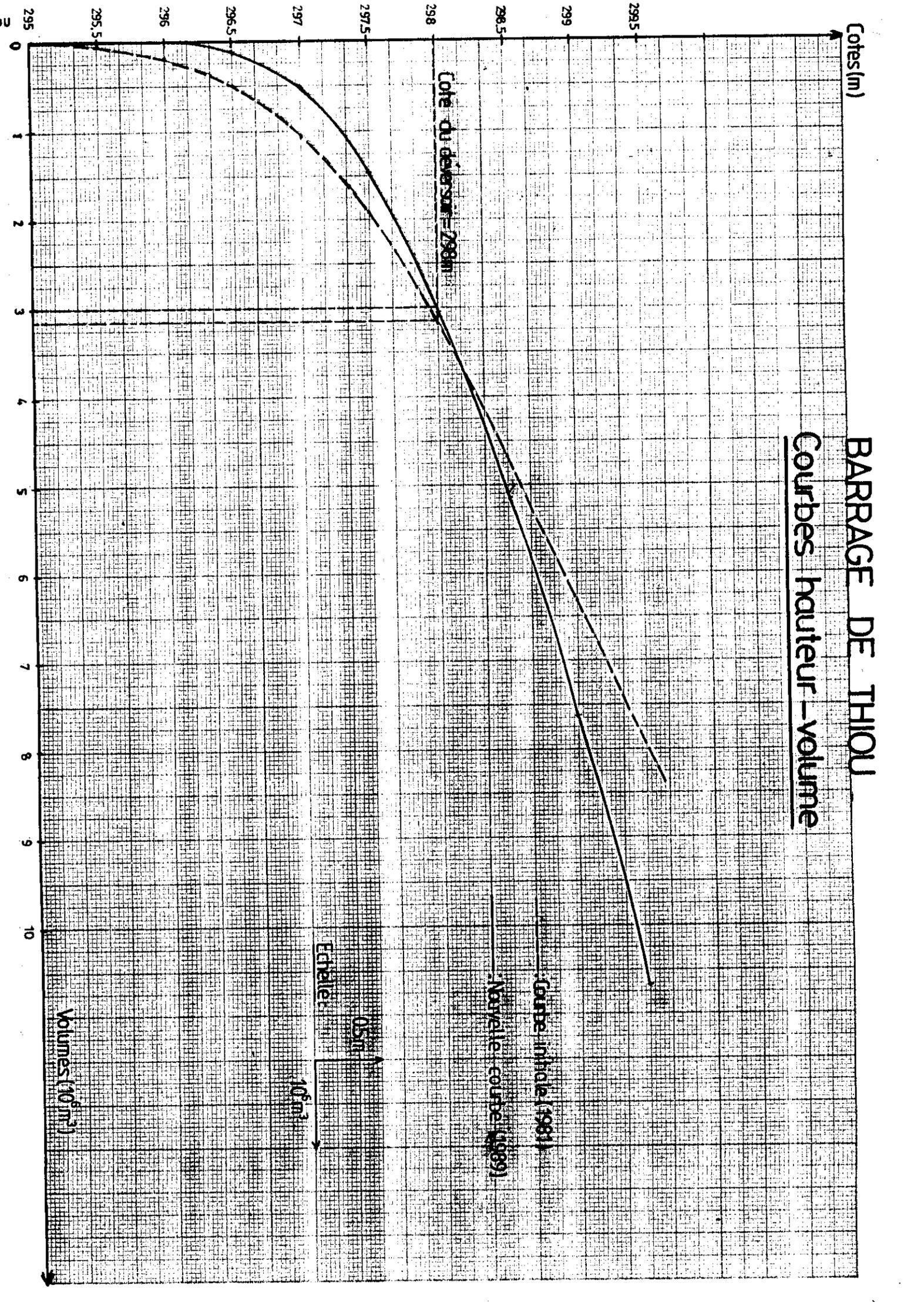
Cote du déversoir = 298m

Courbe initiale (1981)

Nouvelle courbe (1989)

Echelle
0,5m
10⁶ m³

Volumes (10⁶ m³)



Détermination de l'envasement

On détermine graphiquement les volumes :

$$V_{1981} = 3.15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{1989} = 3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

On a : $V_{\text{dépôts}} = V_{1981} - V_{1989} = 150\,000 \text{ m}^3$. soit une perte d'environ 5% de la capacité initiale.

On calcule le volume annuel de dépôts solides :

$$V_{\text{dépôts annuels}} = V_{\text{dépôts}} / (1989 - 1981) = 18\,750 \text{ m}^3.$$

La dégradation spécifique annuelle vaut donc :

$$D = V_{\text{dépôts annuels}} / S \quad \text{avec} \quad S = 328 \text{ km}^2$$

⇒

| |
|--|
| $D = 57 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ |
|--|

VIII- Barrage de Louda

Ce barrage ne fait pas partie de notre étude de cas. D'après les travaux de GUINDO Ibrahima 1997, on dispose des résultats ci-dessous :

Situation

Le barrage, construit en 1959, se trouve dans le village de Louda au Sud de Kaya et au Nord de Boussouma. Il se trouve dans la province du Sanmatenga. Il est à une distance (10km) entre Kaya et Boussouma à proximité de la RN 3 Ouaga-Kaya. La distance totale Ouaga-Louda est d'environ 90 km.

Les coordonnées géographiques du site sont :

Longitude : 1°05' W
Latitude : 13°00' N

Caractéristiques hydrologiques

Superficie du bassin versant = 360 km²
Pente moyenne longitudinale = 0.8%
Distance du marigot principal = 20 km
Pluviométrie moyenne annuelle = 650 mm

Sols et végétation

La géologie est composée de granite à biotite et amphibole. Sur le plan pédologique, les sols sont de type ferrugineux dégradés avec présence de buttes cuirassées.

La végétation est de type savane arbustive avec des espèces comme Adansonia digitata (Baobab), Butyrospermum parkii (Karité) et Tamarindus indica (Tamarinier).

Volume de dépôts solides

Période d'étude = 1976 à 1988.

Volume annuel de dépôts solides = 82 460 m³.

Dégradation spécifique annuelle = 229 m³/km²/an.

IX- Analyse et commentaire des résultats

Evolution du contexte physique observée sur les courbes hauteur-volume

Lorsqu'on trace les deux courbes hauteur-volume sur le même graphique, on observe que pour certains cas (Nagréongo, Salbisgo, Thiou), elles se coupent ou elles ont une tendance à se couper après la cote du déversoir. Alors que pour les autres (Gouinré, Ouaga n°2), les deux courbes restent quasiment parallèles au delà de la cote de déversement.

Cette situation peut s'expliquer par le fait que les zones d'emprunt de matériaux à proximité des cuvettes pour la construction des routes, les défrichements anarchiques, les terrassements lors de la construction des barrages contribuent fortement à modifier l'état initial du terrain naturel. Les berges sont ainsi déformées et n'ont plus la même configuration qu'initialement. Si le terrain restait intact, les deux courbes seraient toujours parallèles au delà de la cote du déversoir.

On peut avoir recours à d'autres explications plus théoriques qui reposent sur l'érosion des berges. En effet, la fluctuation du plan d'eau et le batillage des vagues arrachent les matériaux non consolidés des berges, provoquant ainsi une divagation des contours de la cuvette; d'où une tendance à l'augmentation de la capacité. On a pu le constater sur les plans topographiques où, pour un même barrage, dont le déversoir n'a pas été rehaussé depuis sa construction, la forme actuelle de la cuvette est plus évasée que la forme initiale.

Il faut signaler qu'au Burkina Faso, les pentes des berges des retenues sont en général faibles et en particulier dans notre étude de cas où elles sont inférieures à 2%. Le phénomène d'érosion des berges se manifeste donc moins.

Evolution du contexte physique observée sur les photographies aériennes

Une étude diachronique de photo-interprétation a permis de faire ressortir les points suivants :

- La végétation évolue avec la pluviométrie. On note en effet qu'elle est plus dense dans les zones pluvieuses (Salbisgo, Ouaga, Nagréongo) et moins dense dans les zones faiblement arrosées (Gouinré, Thiou). Dans tous les cas, cette végétation se dégrade au fil des années. Cela est consécutif à la baisse de la pluviométrie et aux actions dévastatrices de l'homme. On passe ainsi des savanes arborées dans les années 1950 à des savanes arbustives avec un tapis herbacé dégradé dans les années 1980.
- La végétation est plus marquée tout le long du réseau hydrographique. Elle se dégrade fortement quand on passe d'une date à une autre.

En effet, l'agrandissement des villes et villages, l'augmentation exponentielle des populations accroissent la pression démographique autour des ressources naturelles. On observe bien sur l'interprétation des photographies aériennes récentes, une forte densité de champs le long des réseaux hydrographiques. Ces sols étant riches en éléments nutritifs et donc propices aux activités agricoles.

- Les bassins versants de Gouinré et Thiou ont un relief accidenté. Il se caractérise par des chaînes de collines et des escarpements aux pentes abruptes qui constituent des lieux privilégiés d'érosion intense.

Quant aux autres bassins versants (Nagréongo, Ouaga n°2, Salbisgo), le relief est relativement plat et monotone.

On remarque que le relief n'évolue presque pas. Il est vrai que, même si l'érosion façonne le relief, on ne peut pas s'attendre en 30 ans à une transformation géomorphologique significative.

- Dans beaucoup de cas, les réseaux hydrographiques ont subi des modifications. Pour certains, ils se sont ramifiés davantage, ce qui est dû à l'action érosive de l'eau. Pour d'autres, des bras ont entièrement disparu ou se sont raccourcis. Cela est dû à l'action de l'homme et aux réseaux routiers qui provoquent des coupures écologiques.

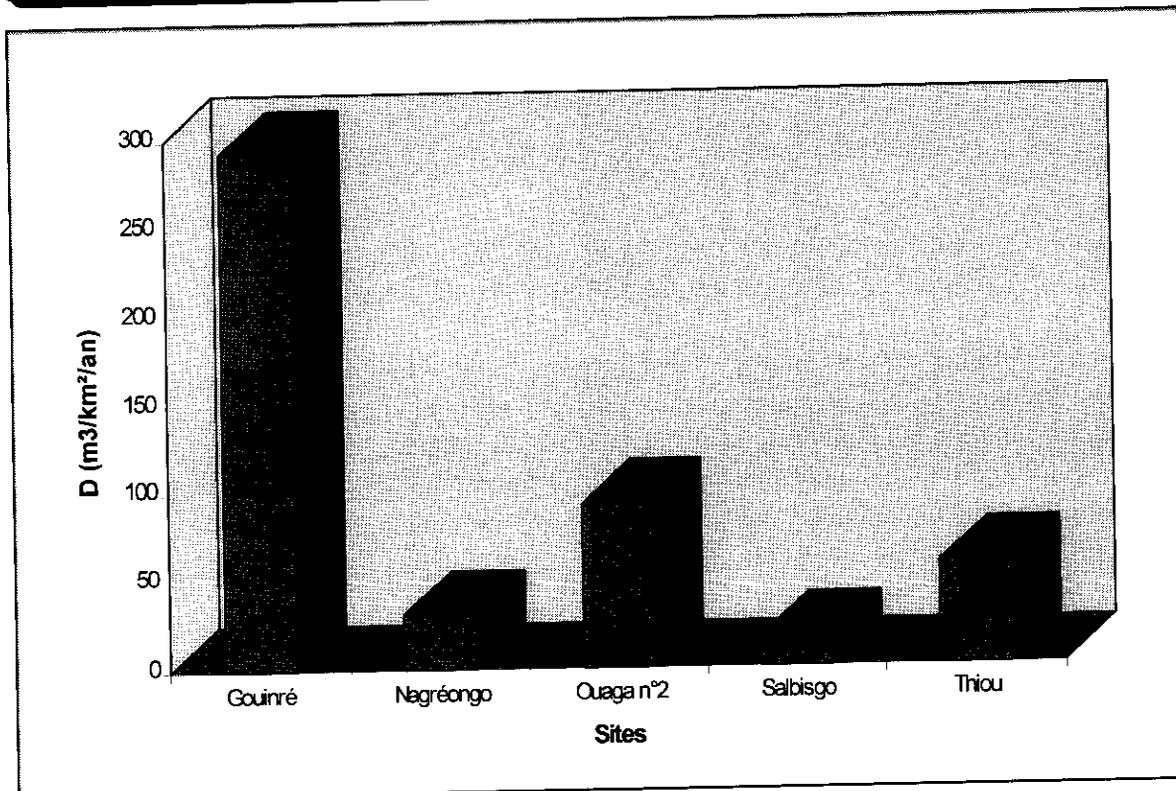
Relations entre caractéristiques du bassin versant et transport solide

| Sites | Puviométrie (mm) | Surface (km ²) | Pente | Envasement annuel (m ³) | dégradation spécifique annuelle | |
|-----------|------------------|----------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| | | | | | m ³ /km ² /an | t/ha/an |
| Gouinré | 619 | 151 | 2% | 44 100 | 292 | 3.50 |
| Nagréongo | 754 | 72 | 0.5% | 2 200 | 31 | 0.37 |
| Ouaga n°2 | 754 | 65 | 0.3% | 6 000 | 92 | 1.10 |
| Salbisgo | 760 | 160 | 0.2% | 2 500 | 16 | 0.19 |
| Thiou | 619 | 328 | 1% | 18 800 | 57 | 0.68 |

Tableau n°9 : Récapitulatif des résultats.

En considérant une densité des sédiments égale à 1.2 donnée dans la littérature,

on a : **1 m³/km²/an = 0.012 t/ha/an.**



Graphique n°1 : Récapitulatif des résultats.

Une analyse des caractéristiques des bassins versants fait ressortir trois groupes de sites :

- Le premier groupe comprend les barrages de Gouiné et Thiou. Ils appartiennent à la même zone pluviométrique. Ils ont également des reliefs et sols semblables. La seule différence notable réside dans la superficie de leur bassin versant. Toute chose étant sensiblement égale par ailleurs, on voit que les dégradations spécifiques annuelles et les surfaces des bassins versants sont inversement proportionnelles. Quand la superficie croît, la dégradation spécifique décroît.

La valeur trop élevée de la dégradation spécifique annuelle de Gouiné ($D=3.50$ t/ha/an) par rapport à celle de Thiou ($D=0.68$ t/ha/an) peut trouver son explication dans le fait que le relief de cette zone est beaucoup accidenté; Gouiné qui a un bassin versant plus petit que celui de Thiou, sera plus encaissé avec des pentes plus fortes. L'érosion y sera donc plus importante.

- Le deuxième groupe est constitué des barrages de Ngréongo et de Ouaga n°2. Ils appartiennent à la même zone climatique, géologique et géomorphologique. Les superficies des bassins versants sont dans les mêmes proportions. On vérifie encore que la dégradation spécifique annuelle évolue en sens contraire de la superficie.

La principale analyse repose ici sur le fait que le barrage n°2 de Ouaga est urbain. En effet, les activités humaines (jardinage, confection des briques, constructions, etc...) ont beaucoup contribué à l'envasement de ce barrage.

L'étude diachronique des photographies aériennes montre une extension rapide de la ville, d'où l'augmentation des besoins en bois de chauffe, en combustibles industriels, en espaces d'habitation et en terres cultivables. Cela a donc entraîné une exploitation effrénée des ressources naturelles, provoquant ainsi une dégradation vertigineuse de la forêt. La végétation devenue pauvre, ne joue plus son rôle de dissipateur d'énergie de la pluie. L'érosion devient donc intense et accélérée.

Il faut également remarquer que le barrage n°2 de Ouaga reçoit une grande partie des eaux usées de la ville qui contiennent d'énormes quantités de matières solides.

La prise en compte de l'urbanisation d'un bassin versant dans l'estimation du volume d'envasement de son barrage reste donc indispensable.

- Le troisième groupe concerne uniquement le barrage de Salbisgo. On pourra le comparer au deuxième groupe avec lequel il partage les mêmes formations géologiques et relief. C'est la zone la plus arrosée avec une pluviométrie moyenne annuelle de 760 mm. La végétation y est plus dense; d'où une faible valeur de sa dégradation spécifique annuelle par rapport aux autres groupes. La comparaison avec le cas de Nagréongo révèle que outre la superficie des bassins versants, la pluviométrie et la dégradation spécifique annuelle évoluent en sens inverse.

Une étude comparative entre les différents cas permet de montrer que la dégradation spécifique annuelle augmente avec un relief accusé et accidenté.

Cette interprétation a permis de dégager les principaux paramètres de l'envasement liés au bassin versant. Ce sont :

- La pluviométrie;
- La géomorphologie (relief, pente);
- La superficie;
- L'urbanisation;
- Le couvert végétal.

X- Critique de la méthode utilisée

- La méthode topographique des courbes de niveau fait recourir à une recherche de documents dans les archives qui sont parfois introuvables ou incomplets. Cela nous a conduit à rejeter certains sites qui, du point de vue étude d'envasement, étaient pourtant intéressants.
- Dans les dossiers initiaux des barrages choisis, nous avons noté beaucoup de cotes estimées. Ce qui laisse croire qu'elles manquent de précision et que nos résultats pourraient être entachés d'erreurs.
- Dans beaucoup de cas, les bornes topographiques d'origines peuvent être confondues avec d'autres bornes plus récentes liées à des nouveaux travaux: Rehaussement de la digue, du déversoir, etc... Cette situation peut introduire des erreurs et incohérences dans les résultats des levés.
- Les prélèvements de matériaux dans la cuvette par les populations riveraines pour des travaux de construction ou encore les zones d'emprunt pour la construction d'ouvrages, sont très fréquents et constituent de véritables sources d'erreurs. Ils contribuent à augmenter la capacité des barrages et souvent dans l'étude de l'envasement, on aboutit à des résultats aberrants (exemple : volume actuel > volume initial, pour un barrage non rehaussé)
- Dans nos différents calculs, ces prélèvements de matériaux par les riverains ont été négligés car ils sont ponctuels, sporadiques et difficiles à quantifier. Cela laisse donc une certaine marge d'incertitude sur les résultats obtenus.
- Le barrage de Gouinré est une retenue totale possédant un déversoir latéral de sécurité. Les récents levés topographiques n'ont pas atteint la cote de ce déversoir. Sa courbe hauteur-volume a donc été prolongée afin de déterminer le volume d'envasement. Cette extrapolation pourrait être une source d'erreurs.

XI- Etude comparative des résultats issus des mesures et de l'application des formules

Plusieurs formules sont appliquées pour l'estimation du volume d'envasement des retenues. Ce sont des formules empiriques et approximatives. Au Burkina Faso, les plus utilisées sont la formule de GOTTSCALK et celle de CIEH-EIER (GRESILLON). Dans notre cas, nous appliquerons ces deux formules afin de comparer les résultats de mesures et de calculs.

Formule de GOTTSCALK

$$D = 260 * S^{-0.1} \quad V = D * S$$

avec S : Superficie du bassin versant (km²)
 D : dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)
 V : Volume annuel de dépôts solides (m³/an)

Notons que cette relation a été établie après des observations faites sur la dégradation spécifique annuelle de 66 bassins d'Amérique. Elles ont permis de mettre en évidence une certaine réduction moyenne de la dégradation avec la surface. Cette faible décroissance peut s'expliquer par la diminution de la pente moyenne lorsque la surface du bassin versant augmente.

Formule de CIEH-EIER (GRESILLON)

$$D = 700 * (P/500)^{-2.2} * S^{-0.1} \quad V = D * S$$

avec P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)
 S : Superficie du bassin versant (km²)
 D : dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)
 V : Volume annuel de dépôts solides (m³/an)

Pour établir cette formule, l'EIER a procédé à la mesure de 3 retenues au Burkina Faso (Goundi, samboendi et Vi), situées dans des zones climatiques différentes. A cet effet, des levés topographiques ont été réalisés après un nombre connu d'années de remplissage et comparaison des capacités initiales et de celles déterminées au moment de l'étude a été faite.

L'application de ces deux formules a donné les résultats suivants :

| Barrages | Gouiné | Nagréongo | Ouaga n°2 | salbisgo | Thiou | Louda |
|---|--------|-----------|-----------|----------|-------|-------|
| Pluviométrie moy. annuelle (mm) | 619 | 754 | 754 | 760 | 619 | 650 |
| Superficie (km ²) | 151 | 72 | 65 | 160 | 328 | 360 |
| D _{mesurée} (m ³ /km ² /an) | 292 | 31 | 92 | 16 | 57 | 229 |
| D _{calculée} (m ³ /km ² /an) GOTTSCHALK | 157 | 170 | 171 | 157 | 145 | 144 |
| D _{calculée} (m ³ /km ² /an) GRESILLON | 265 | 185 | 187 | 168 | 245 | 218 |

Tableau n°10 : Résultats des mesures et calculs

Les valeurs données par la formule de GOTTSCHALK qui tient uniquement compte de la superficie du bassin versant, s'écarte systématiquement des valeurs mesurées. Quant à la formule de GRESILLON, elle donne d'assez bonnes valeurs pour les barrages de Gouiné et Louda. Pour les autres, les résultats ne sont pas satisfaisants et sont du même ordre que ceux fournis par la formule de GOTTSCHALK.

Le tableau ci-après regroupe les erreurs relatives sur les deux formules :

| Barrages | Gouiné | Nagréongo | Ouaga n°2 | salbisgo | Thiou | Louda |
|------------|--------|-----------|-----------|----------|-------|-------|
| GOTTSCHALK | 0.46 | -4.48 | -0.86 | -8.81 | -1.54 | 0.37 |
| GRESILLON | 0.09 | -4.97 | -1.03 | -9.5 | -3.30 | 0.05 |

Tableau n°11 : Erreurs relatives.

$$\text{Erreur relative} = (D_{\text{mesurée}} - D_{\text{calculée}}) / D_{\text{mesurée}}$$

on remarque que hormis les cas de Gouiné et Louda, les deux formules ont tendance à surestimer la dégradation spécifique annuelle. Ces formules permettent donc d'avoir qu'une idée approximative du phénomène d'envasement, elles ne corroborent pas toujours la réalité.

Nous essayerons dans la suite d'améliorer la formule de CIEH-EIER (GRESILLON) afin qu'elle prenne en compte, outre la pluviométrie et la superficie du bassin versant, l'influence des activités humaines et celle du relief pour une meilleure estimation du volume d'envasement.

XII- Proposition d'une formule d'estimation de l'envasement

Hypothèses simplificatrices

A l'issue de notre étude d'interprétation, nous avons dégagé les paramètres pertinents à prendre en compte dans l'estimation de l'envasement d'un barrage. Dans cette partie, nous travaillerons dans un premier temps avec la pluviométrie et la superficie du bassin versant. Par la suite, des paramètres tels que le relief et les activités humaines sur le bassin viendront s'y greffer. Les autres paramètres ne seront pas considérés dans cette étude.

En effet, nous n'avons pas pu établir une relation claire et nette entre l'envasement et la géologie ; même si les sols friables, non consolidés et peu résistants sont plus sensibles à l'érosion et contribuent à augmenter le volume d'envasement.

Quant à la pente du bassin versant, elle est liée à la surface et au relief. On sait qu'un relief très accidenté et accusé comporte des pentes fortes et que la pente diminue dans des proportions relativement faibles avec l'augmentation de la surface. La prise en compte de la pente dans les régressions entraînerait une forte corrélation avec la surface et le relief ; ce qui fausserait les résultats.

Le couvert végétal se trouve lié à la pluviométrie. Au Burkina Faso, la végétation est de type zonal, c'est à dire fortement tributaire des différentes zones climatiques. Nous pensons que la prise en considération du seul paramètre pluviométrie justifie l'influence du couvert végétal ; puisque la végétation dense se situe dans les zones à forte pluviométrie.

Il faut noter que dans ce chapitre, nous ne traiterons que de l'érosion hydrique et anthropique qui sont les plus importantes et fréquentes au Burkina Faso. Les autres formes (érosion éolienne, gravitaire) ne seront pas étudiées. Les caractéristiques physiques des sédiments (poids, taille, forme, ...) ne seront pas pris en compte dans notre étude.

Résultats des régressions

Nous avons procédé à des régressions à l'aide du logiciel STATITCF sur les variables D, P et S regroupées dans le tableau suivant :

| Barrages | P (mm) | S (km²) | D (m³/km²/an) |
|-----------------|---------------|---------------------------|--|
| Gouiné | 619 | 151 | 292 |
| Nagréongo | 754 | 72 | 31 |
| Ouaga n°2 | 754 | 65 | 92 |
| Salbisgo | 760 | 160 | 16 |
| Thiou | 619 | 328 | 57 |

Tableau n°12 : Variables de régression.

Nous avons tenté dans un premier temps, des régressions linéaires, non linéaires, simples et multiples sur les valeurs du tableau; mais cela n'a pas donné des résultats satisfaisants.

Nous avons dû transformer le tableau en utilisant le logarithme népérien des variables :

| Barrages | Ln(P) | Ln(S) | Ln(D) |
|-----------|-------|-------|-------|
| Gouiné | 6.428 | 5.017 | 5.677 |
| Nagréongo | 6.625 | 4.277 | 3.434 |
| Ouaga n°2 | 6.625 | 4.174 | 4.522 |
| Salbisgo | 6.633 | 5.075 | 2.773 |
| Thiou | 6.428 | 5.793 | 4.043 |

Tableau n°13 : Logarithme népérien des variables.

Cela a permis d'aboutir à une régression linéaire multiple du genre :

$$\text{Ln}(D) = a \cdot \text{Ln}(P) + b \cdot \text{Ln}(S) + c$$

où

$$a = -13.81$$

$$b = -1.65$$

$$c = 102.54$$

(Voir annexe n°5 pour les étapes de la régression)

Le coefficient de corrélation multiple $R_{\text{multiple}} = 0.94$ est acceptable.

Cette relation appliquée au barrage de Louda donne $D = 30 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$; ce qui est très loin du résultat de mesures ($D = 229 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$).

Nous avons donc intégré le cas de Louda et pris en compte les paramètres relief et activités humaines sur le bassin versant.

En s'inspirant de la formule de GRESILLON, nous arrivons à une formule de type:

$$D = 137 * \left(\frac{P}{700} \right)^{-2.02} * S^{-0.05} * K$$

Où K est une variable à déterminer.

Pour mieux expliquer l'influence des activités humaines et du relief sur D, la variable K peut se mettre sous le modèle hyperexponentiel suivant :

$$K = \left[\alpha^\beta + \gamma * \beta * (h+r) \right]^{1/\beta}$$

avec

$$\begin{aligned} \alpha &= 0.20 \\ \beta &= 0.87 \\ \gamma &= 1.30 \end{aligned}$$

h est appelé "**paramètre anthro**" et est défini comme suit :

- **h** ∈ [0.7 - 1] - Bassin versant comportant des grandes villes, de gros villages ou situé à proximité de ceux-ci.
- Probabilité d'extension rapide de villes ou villages sur le bassin.
- **h** ∈ [0.4 - 0.7] - Bassin versant comportant des petites villes, des villages moyens ou situé à proximité de ceux-ci.
- Probabilité d'extension moyenne de villes ou villages sur le bassin versant.
- **h** ∈ [0.1 - 0.4] - Bassin versant comportant de petits villages ou situé à proximité de ceux-ci.
- **h** ∈ [0 - 0.1] - Bassin versant relativement inhabité ou éloigné de toute ville et village.

r est appelé "**paramètre morpho**" et est défini de la manière suivante :

- **r** ∈ [0.7 - 1] - Relief très accidenté, accusé.
- **r** ∈ [0.4 - 0.7] - Relief moyennement accidenté, accusé.
- **r** ∈ [0.1 - 0.4] - Relief peu accidenté, accusé.
- **r** ∈ [0 - 0.1] - Relief relativement plat et monotone.

La formule entière s'écrira donc :

$$D = 137 * \left(\frac{P}{700} \right)^{-2.02} * S^{-0.05} * [0.25 + 1.13 * (h+r)]^{1.15}$$

Avec **D** : Dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)
P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)
S : Superficie du bassin versant (km²)
h : paramètre anthro
r : Paramètre morpho

Vérification de la formule

Nous ferons la vérification avec les cas étudiés et celui de Louda.

| Barrages | P (mm) | S (km ²) | h | r | D _{calculée} (m ³ /km ² /an) | D _{mesurée} (m ³ /km ² /an) | Erreur relative |
|-----------|--------|----------------------|-----|------|--|---|-----------------|
| Gouiné | 619 | 151 | 0.7 | 0.8 | 294 ²⁶⁵ | 292 | -0.007 |
| Nagréongo | 754 | 72 | 0.1 | 0.05 | 35 ¹⁸⁵ | 31 | -0.13 |
| Ouaga n°2 | 754 | 65 | 0.8 | 0.05 | 119 ¹⁸⁷ | 92 | -0.29 |
| Salbisgo | 760 | 160 | 0.4 | 0.05 | 65 ¹⁶¹ | 16 | -3.06 |
| Thiou | 619 | 328 | 0.2 | 0.3 | 104 ²⁰⁵ | 57 | -0.82 |
| Louda | 650 | 360 | 0.5 | 0.8 | 221 ²¹⁸ | 229 | 0.03 |

Tableau n°14 : Vérification.

Hormis le cas de Salbisgo, toutes les valeurs calculées corroborent bien avec les valeurs mesurées. Par rapport aux formules de GOTTSCALK et de GRESILLON, cette formule se rapproche mieux de la réalité.

Contre vérification de la formule

Nous utiliserons des cas qui ne font pas partie de notre étude. Pour la détermination des paramètres h et r, nous nous aiderons des cartes routières 1/1000 000^e et topographiques 1/200 000^e du Burkina Faso. Les valeurs prises peuvent ne pas toujours correspondre avec la réalité du terrain. Il aurait été plus intéressant d'effectuer des sorties sur ces sites ou encore d'exploiter des photographies aériennes des bassins versants.

| Barrages | P (mm) | S (km ²) | h | r | D _{calculée} (m ³ /km ² /an) | D _{mesurée} (m ³ /km ² /an) | Erreur relative |
|---------------|--------|----------------------|-----|-----|--|---|-----------------|
| Volta Blanche | 625 | 30 200 | 0.3 | 0.4 | 130 | 62 | 0.52 |
| Kompienga | 905 | 5800 | 0.5 | 0.2 | 55 | 53 | -0.038 |
| Goundi | 900 | 38 | 0.7 | 0.7 | 138 | 160 | 0.14 |
| Samboendi | 724 | 148 | 0.6 | 0.5 | 158 | 260 | 0.39 |
| Vi | 1000 | 92 | 0.3 | 0.4 | 56 | 52 | -0.077 |
| Mogtèdo | 730 | 480 | 0.5 | 0.5 | 134 | 137 | 0.022 |
| Boulbi | 850 | 102 | 0.3 | 0.4 | 77 | 75 | -0.027 |

Tableau n°15 : Contre vérification.

Remarques :

- Pour deux bassins versants situés dans une même zone, le paramètre anthro (h) sera plus élevé pour celui qui possède la plus petite superficie. En effet, les effets des actions humaines se font plus rapidement ressentir et sont plus catastrophiques sur un petit bassin que sur un grand.
- Lorsqu'il y a une grande incertitude sur la connaissance du bassin versant, on choisira des valeurs de h et r telles : $h + r \cong 0.7$

On constate que la formule donne des résultats satisfaisants, sauf les cas de la Volta Blanche et de Samboendi.

Limites et critiques de la formule

- ok (- La formule s'adapte mal aux grands bassins versants (S ≥ dizaine de milliers de km²). C'est le cas de la Volta Blanche.
- ? (- Le choix des paramètres anthro (h) et morpho (r) est laissé à l'appréciation du projeteur. Ce qui lui confert un caractère arbitraire.

Formule finale proposée

Pour l'estimation du volume d'envasement dans une retenue, nous proposons la formule suivante dénommée :

Formule de GRESILLON modifiée ou Formule de KARAMBIRI :

$$D = 137 * \left(\frac{P}{700} \right)^{-2.02} * S^{-0.05} * [0.25 + 1.13 * (h + r)]^{1.15}$$

$$V = D * S$$

- Avec
- D** : Dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)
 - V** : Volume annuel de dépôts solides (m³/an)
 - P** : Pluviométrie moyenne annuelle (mm)
 - S** : Superficie du bassin versant (km²)
 - h** : paramètre anthro
 - r** : Paramètre morpho

Les paramètres h et r sont définis plus haut.

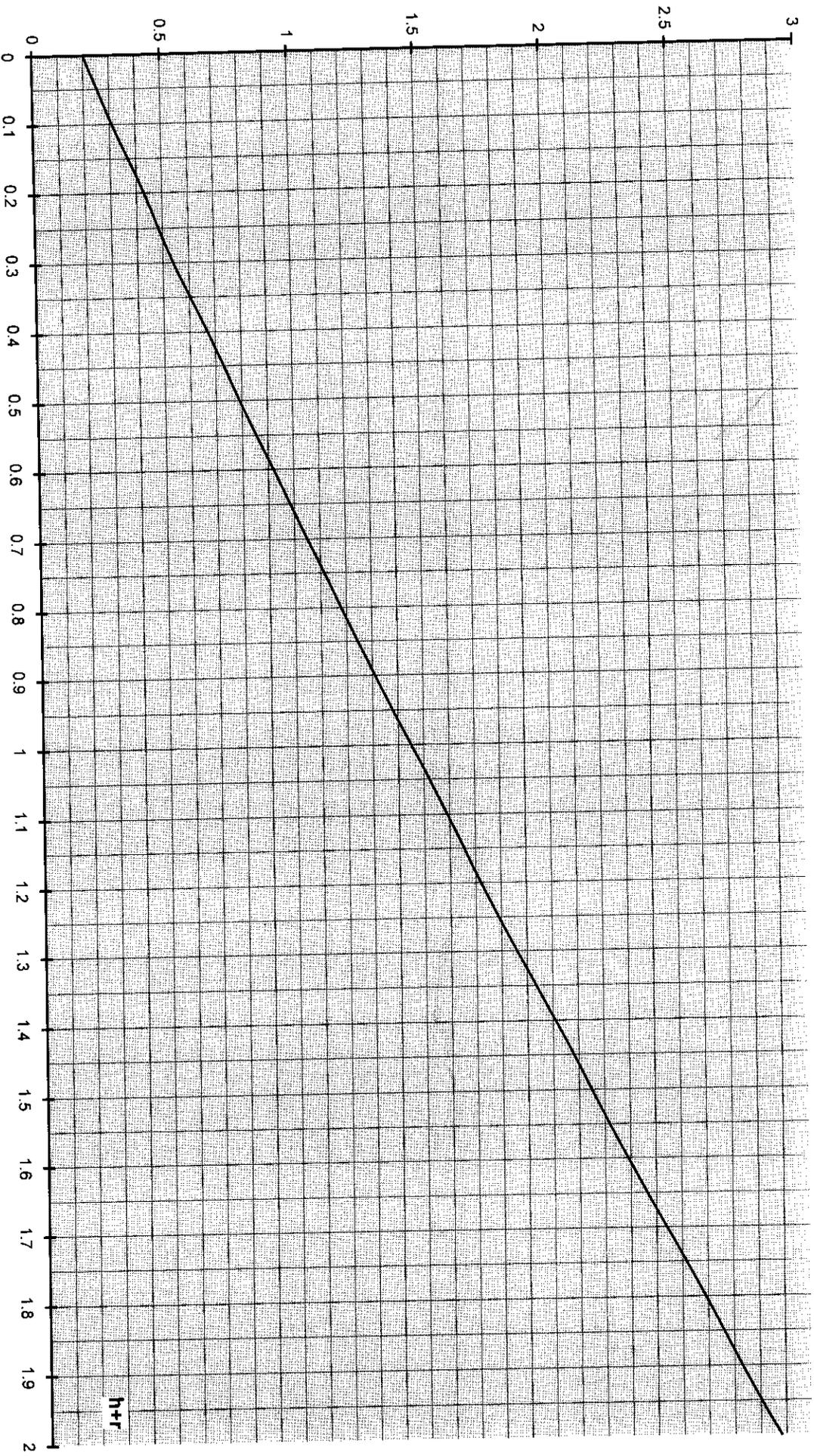
On pourra mettre la formule sous la forme :

$$D = 137 * \left(\frac{P}{700} \right)^{-2.02} * S^{-0.05} * K$$

Où, après le choix des paramètres **h** et **r**, on détermine **K** à l'aide de l'abaque de la page suivante :

K

Abaque de détermination de K



CONCLUSION

A travers cette étude, on se rend compte que l'envasement des retenues est un phénomène qui a pour cause l'érosion sur les bassins versants. Cette érosion est liée à plusieurs facteurs qui partent depuis les caractéristiques géomorphologiques (relief, pente), pédologiques (sols), biogéographiques (végétation), en passant par les agents climatiques (vents, pluviométrie, température,...) jusqu'aux activités anthropiques sur les bassins versants.

Ses conséquences sont néfastes et conduisent à une perte de la capacité du barrage qui finit par ne plus répondre aux objectifs de départ.

L'estimation de l'envasement reste délicat. Les mesures ne sont pas toujours fiables et les formules appliquées sont approximatives.

Au Burkina Faso, plusieurs études ont été menées sur l'envasement des barrages et ont permis de mesurer les volumes de dépôts solides ainsi que la dégradation spécifique annuelle. Notre étude de cas vient donc s'ajouter à cette liste pour constituer un répertoire consistant et permettre une meilleure connaissance du problème crucial de l'envasement des retenues.

Les formules de GOTTSCHALK et de GRESILLON, couramment utilisées au Burkina Faso pour l'estimation de l'envasement, ne donnent pas toujours des résultats satisfaisants.

Nous avons donc proposé une formule qui tient compte, en plus de la pluviométrie et de la surface, de l'influence des activités humaines sur le bassin versant et du relief. C'est donc une version améliorée de la formule de GRESILLON. Cette formule qui se veut une première approche vers une meilleure estimation de l'envasement, doit être approfondie et affinée sur un échantillon de sites de taille plus importante.

Les solutions curatives proposées pour lutter contre le problème des dépôts solides sont parfois très coûteuses et difficiles à mettre en oeuvre; surtout au Burkina Faso où les barrages sont de petites tailles et les coûts des solutions dépasseraient les coûts de réalisation des ouvrages.

Un accent particulier doit être donc mis sur les solutions préventives notamment les mesures de conservation des eaux et sols qui n'empêchent pas l'envasement, mais permettent de réduire l'érosion sur les bassins versants et ainsi de retarder l'échéance du comblement des barrages.

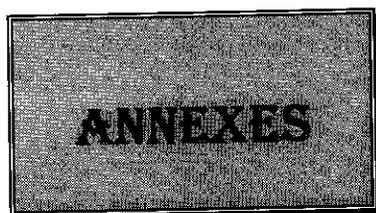
La mise en place de ces solutions passe nécessairement par une prise de conscience des populations sur les questions environnementales. Elles doivent être l'oeuvre des décideurs politiques et de l'implication active et effective des populations bénéficiaires. Pour ce faire, une politique rigoureuse de gestion des bassins versants doit être clairement définie, appuyée par une sensibilisation accrue des masses paysannes et citadines.

Pour finir, nous osons croire que cette modeste contribution qui est notre grain de sel à l'épineux débat sur la problématique de l'envasement des retenues de barrages, éclairera d'autres travaux. Notre souhait est qu'on aboutisse dans les prochaines années à une meilleure maîtrise et connaissance du phénomène de l'envasement des barrages au Burkina Faso. Cela demandera davantage de mesures, de vérifications et de moyens certes, mais c'est le prix à payer pour sortir des ornières de l'incertitude.

BIBLIOTHÈQUE

1. **AMADOU Mahamane** Problématique de la sédimentation dans les petits et moyens barrages en terre et/ou enrochement en Afrique de l'Ouest : Cas de la région de Ader Doutchi MAGGIA (Rép. Niger). Mémoire de fin d'études - EIER, Ouaga, 31p; 1990.
2. **BRUK S.** Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et réservoirs. UNESCO - Paris, 227 p; 1986..
3. **CHUZEVILLE Bernard** Hydrologie tropicale et appliquée en Afrique subsaharienne. Ministère de la Coopération et du Développement (France), 275 p; 1990.
4. **CIEH, LCT CEMAGREF-ENGREF, ORSTOM, BUNASOLS** Etude hydrologique avec traitement d'images satellitaires de neuf bassins versants de petits barrages au Burkina Faso. Tome 1 - Rapport général 1^{ère} partie, 61 p; 1992.
5. **COMPAORE M. L.** Cours de barrage. Polycopié EIER, 2^e édition, Ouagadougou, 265 p; 1996.
6. **DIPAMA Jean - Marie** La sédimentation des barrages n°1,2 et 3 de la ville de Ouagadougou et ses impacts socio-économiques. Mémoire de Maîtrise - Géographie physique - FLASHS - Université Ouagadougou, 97 p; 1992.
7. **DURAND J. M.** Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique. Polycopié EIER, Version provisoire, Ouagadougou, 265 p; 1996.
8. **GRESILLON J. M.** Contribution à l'étude des petits barrages. Bulletin technique n°5 - EIER - Ouagadougou; 1981.
9. **Groupe d'auteurs** Technique des barrages en aménagement rural. Ministère de l'agriculture (France); 325 p; 1977.
10. **GUINDO Ibrahima** Etude de l'envasement du barrage de Louda. Mémoire de fin d'étude FPU-HA - EIER, Ouagadougou, 27p; 1997.

11. **KANTE Korotoumou** Envasement des petits barrages au Burkina Faso.
Mémoire de fin d'étude FPU-HA - EIER, Ouagadougou,
15p; 1995.
12. **MBENGUE Ibrahima** Problèmes particuliers des petits barrages en terre en
Afrique sahélienne. CEMAGREF; 1986.
13. **Michel Baumer** Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique
Occidentale. 260 p; 1995.
14. **MIETTON M.** Les données de l'érosion sur bassins versants au
Burkina Faso (ex Haute-Volta).
15. **PUECH C.** Méthodes et référence pour la conception et l'analyse
des aménagements hydroagricoles au Burkina Faso.
Tome 1: Hydrologie des petits barrages. CIEH-
Ouagadougou; 1984.
16. **RAMPON A.** Sédimentation et barrages : Erosion et transport. Les
dépôts solides dans les barrages. Mémoire n°18 -
CEMAGREF, 210 p; 1987.
17. **RENE MARCEAU**
Rochette Le Sahel en lutte contre la désertification. CILSS/PAC,
592 p; 1989.
18. **ROYET P., MERIAUX**
P., DURAND J. M. Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et
équatoriale. Ouagadougou; 1997.
19. **VEN TE CHOW** Handbook for applied hydrology. Mc Grow-Hill Book
COMPANY; 1964.



ANNEXES N°1 : Cartes géologique, pédologique et géographique du Burkina Faso.

ANNEXES N°2 : Données pluviométriques.

ANNEXES N°3 : Détermination des caractéristiques des bassins versants.

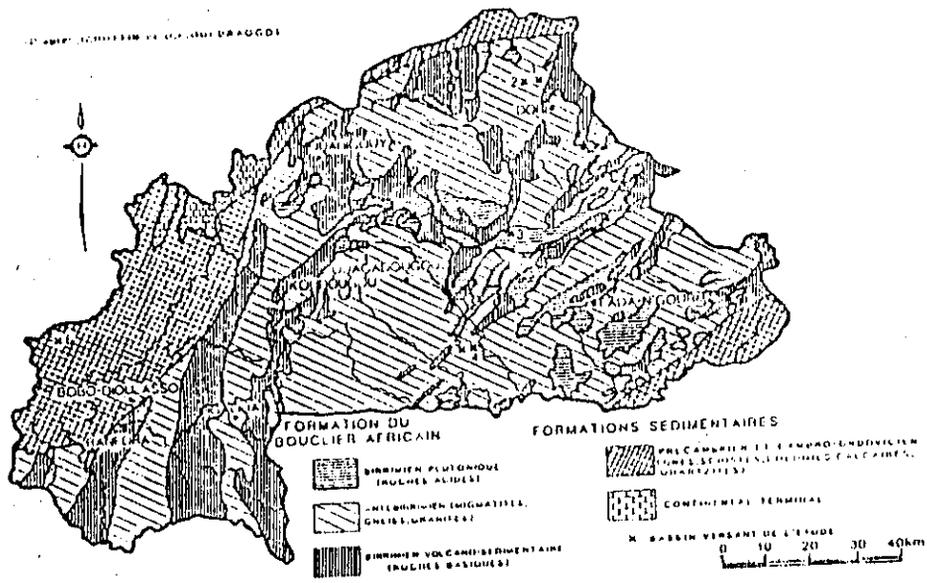
ANNEXES N°4 : Photo-interprétation.

ANNEXES N°5 : Régressions.

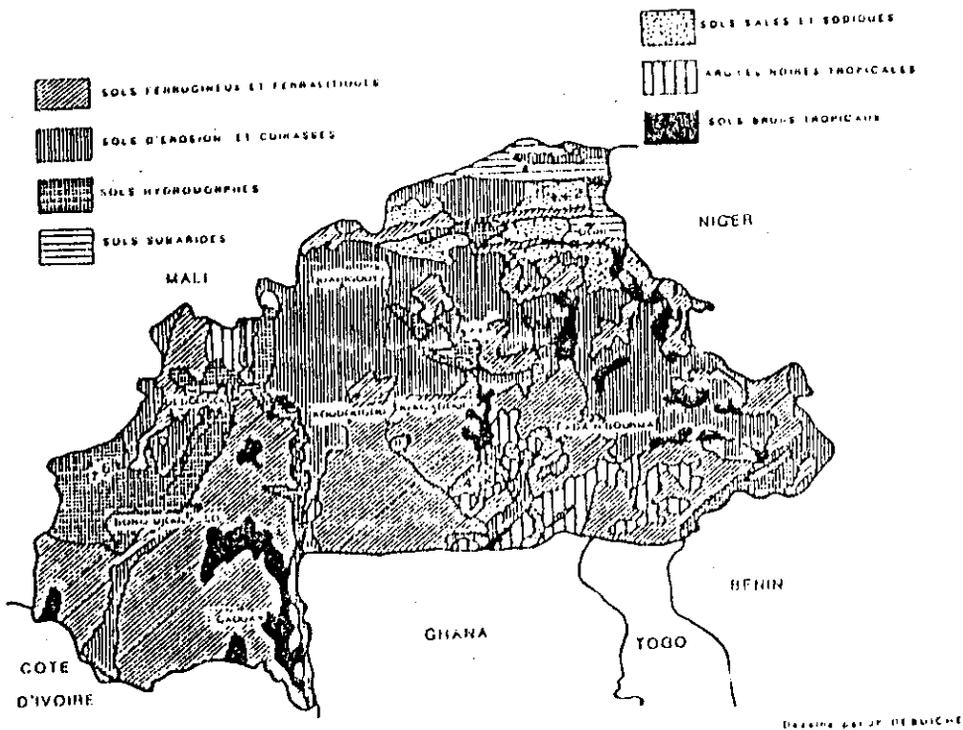
ANNEXES N°6 : Illustrations photographiques.

ANNEXES N°1

ÉTUDE DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES AU BURKINA FASO : ÉTUDE DE CAS



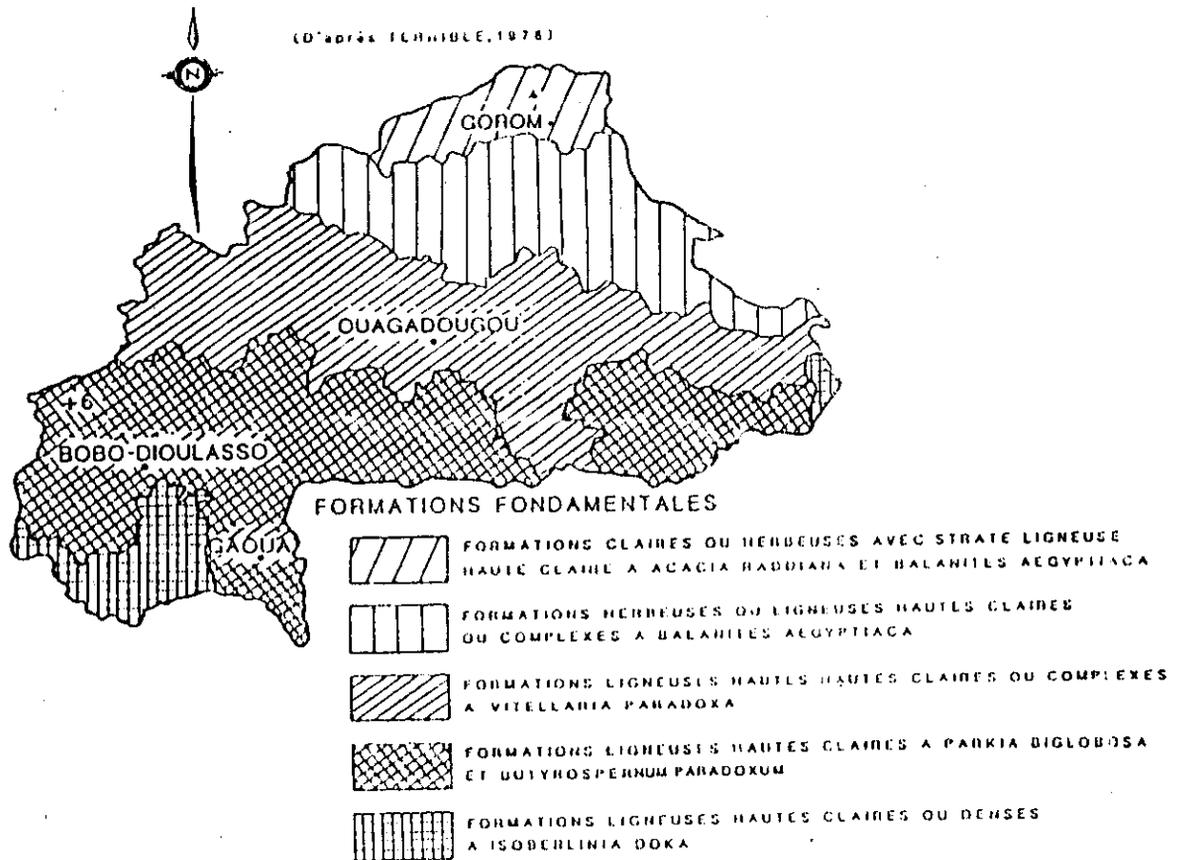
Carte n°3: Carte géologique simplifiée (in Albergel, 1988)



(D'après la carte pédologique ORSTOM au 1/500 000 de l'Atlas international de l'Ouest Africain)

Carte n°4: Carte des sols (in Albergel, 1988)

ÉTUDE DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES AU BURKINA FASO : ÉTUDE DE CAS



Carte n°5 : Grandes Zones de végétation (in Albergel, 1988)

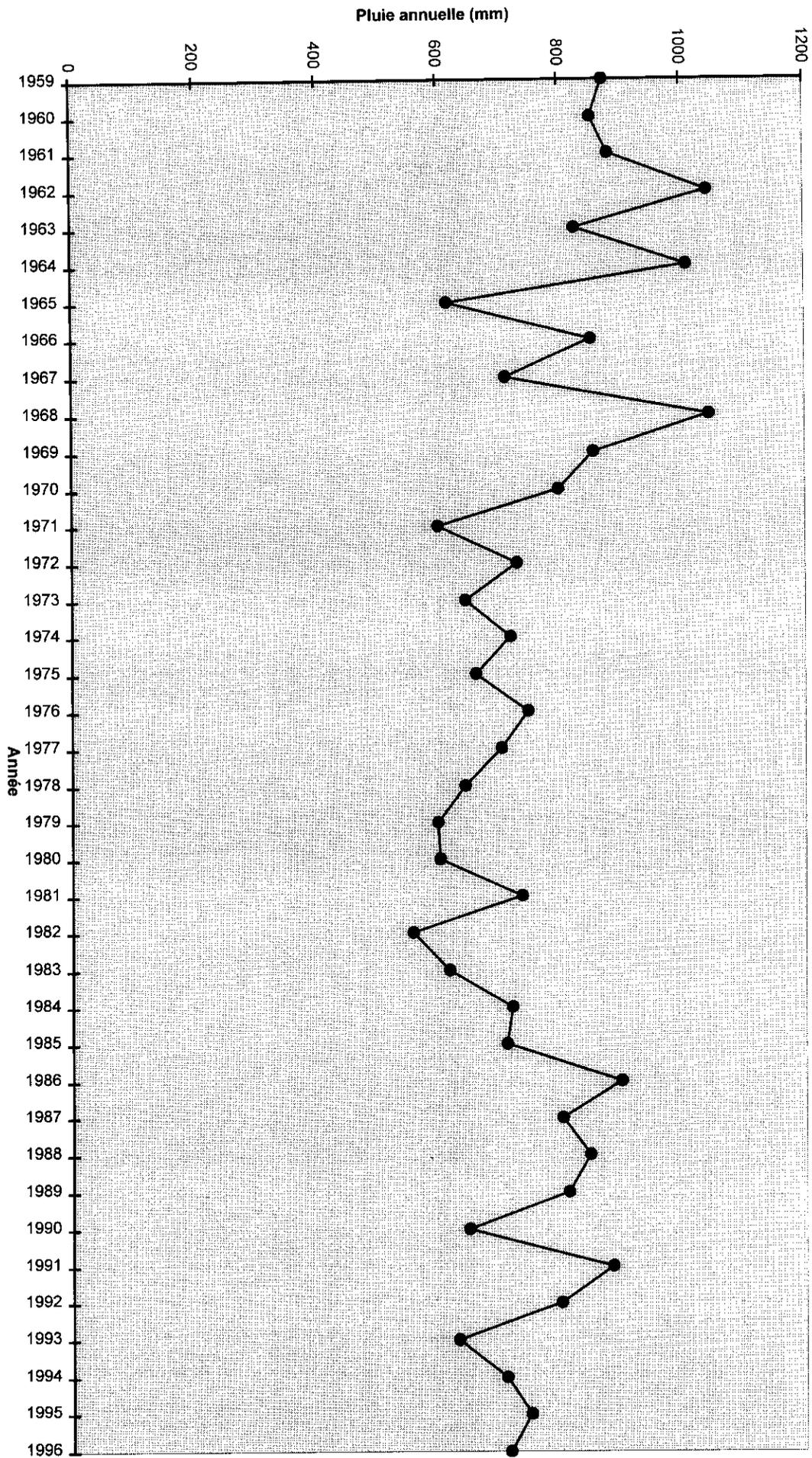
ANNEXES N°2

Données pluviométriques

- Pluviométrie annuelle de la station de Koudougou.
- Pluviométrie annuelle de la station de Ouagadougou.
- Pluviométrie annuelle de la station de Ouahigouya.

**PLUVIOMETRIE ANNUELLE DE LA STATION DE
KOUDOUGOU**

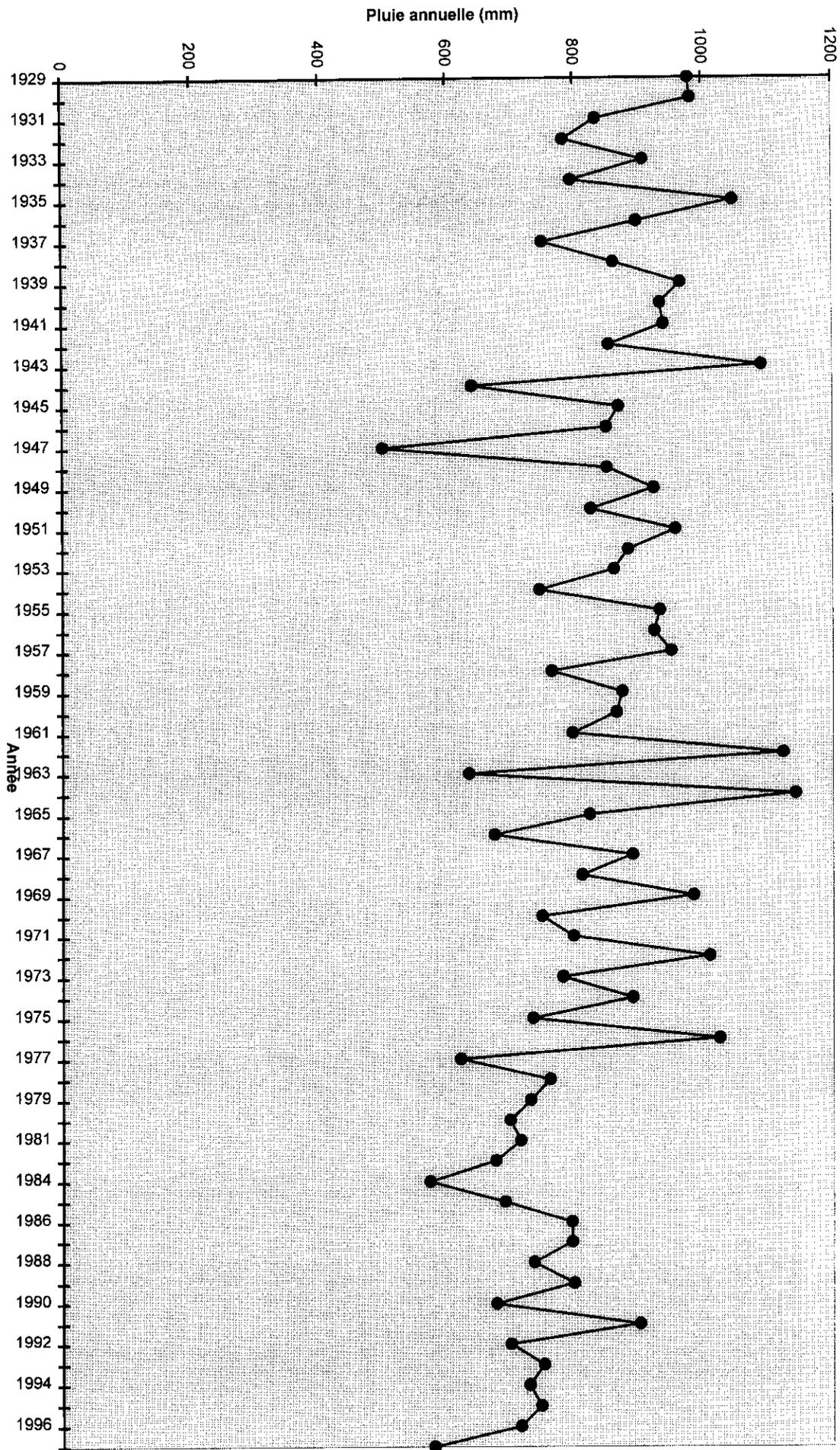
| Année | Pluie annuelle (mm) | Année | Pluie annuelle (mm) |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 1959 | 874 | 1978 | 643 |
| 1960 | 854 | 1979 | 598 |
| 1961 | 882 | 1980 | 601 |
| 1962 | 1043 | 1981 | 736 |
| 1963 | 826 | 1982 | 556 |
| 1964 | 1009 | 1983 | 616 |
| 1965 | 615 | 1984 | 720 |
| 1966 | 852 | 1985 | 711 |
| 1967 | 711 | 1986 | 899 |
| 1968 | 1045 | 1987 | 802 |
| 1969 | 856 | 1988 | 847 |
| 1970 | 798 | 1989 | 812 |
| 1971 | 599 | 1990 | 648 |
| 1972 | 729 | 1991 | 885 |
| 1973 | 644 | 1992 | 800 |
| 1974 | 718 | 1993 | 631 |
| 1975 | 661 | 1994 | 710 |
| 1976 | 747 | 1995 | 750 |
| 1977 | 703 | 1996 | 716 |



Evolution de la pluviométrie de la station de Koudougou

PLUVIOMETRIE ANNUELLE DE LA STATION DE OUAGADOUGOU

| Année | Pluie annuelle (mm) | Année | Pluie annuelle (mm) |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 1929 | 979,8 | 1963 | 633,5 |
| 1930 | 982,8 | 1964 | 1142,1 |
| 1931 | 834,7 | 1965 | 822,6 |
| 1932 | 784,1 | 1966 | 673,4 |
| 1933 | 908,2 | 1967 | 889,3 |
| 1934 | 795,7 | 1968 | 810,6 |
| 1935 | 1047,1 | 1969 | 984,5 |
| 1936 | 898 | 1970 | 747,8 |
| 1937 | 750,1 | 1971 | 796,8 |
| 1938 | 861,6 | 1972 | 1009,1 |
| 1939 | 965,8 | 1973 | 780,4 |
| 1940 | 934,3 | 1974 | 889,4 |
| 1941 | 939,3 | 1975 | 733,4 |
| 1942 | 853,7 | 1976 | 1024,7 |
| 1943 | 1090,5 | 1977 | 620 |
| 1944 | 638,7 | 1978 | 760 |
| 1945 | 868,9 | 1979 | 729,3 |
| 1946 | 849,7 | 1980 | 697 |
| 1947 | 498,6 | 1981 | 713,6 |
| 1948 | 850,6 | 1983 | 674,6 |
| 1949 | 923,4 | 1984 | 571,4 |
| 1950 | 825,2 | 1985 | 689,2 |
| 1951 | 957,2 | 1986 | 794 |
| 1952 | 883,6 | 1987 | 794,5 |
| 1953 | 860,7 | 1988 | 735 |
| 1954 | 744,7 | 1989 | 797,8 |
| 1955 | 932,3 | 1990 | 675,9 |
| 1956 | 923,7 | 1991 | 900,7 |
| 1957 | 949,9 | 1992 | 698,7 |
| 1958 | 763,2 | 1993 | 750,4 |
| 1959 | 873,6 | 1994 | 728 |
| 1960 | 864,7 | 1995 | 746,5 |
| 1961 | 796 | 1996 | 714,6 |
| 1962 | 1123,2 | 1997 | 578,7 |

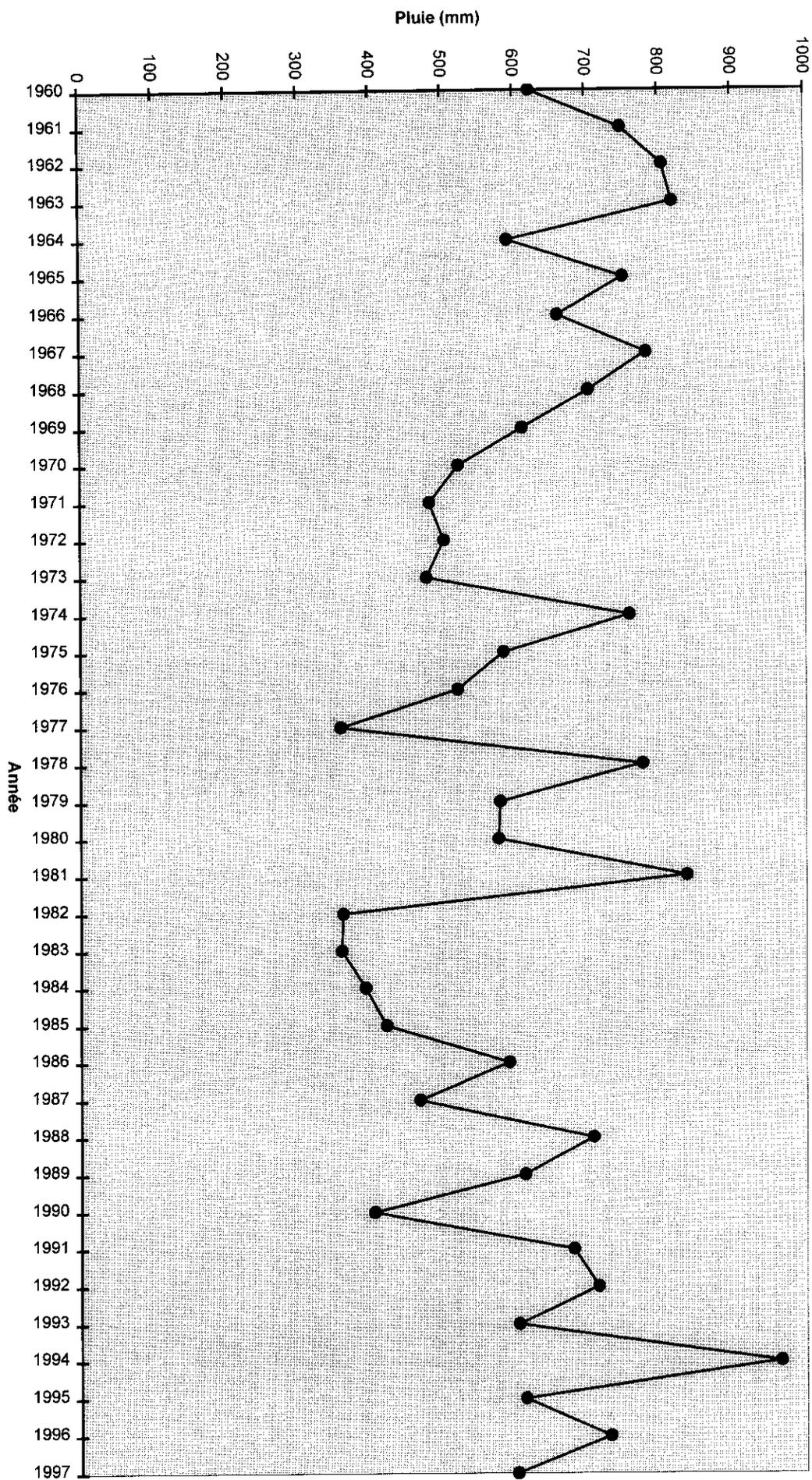


Evolution de la pluviométrie annuelle de la station de Ouagadougou

PLUVIOMETRIE ANNUELLE DE LA STATION DE OUAHIGOUYA

| Année | Pluie annuelle (mm) | Année | Pluie annuelle (mm) |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 1960 | 622.7 | 1979 | 578.7 |
| 1961 | 749 | 1980 | 576.1 |
| 1962 | 805.9 | 1981 | 836.1 |
| 1963 | 819.3 | 1982 | 360.1 |
| 1964 | 591 | 1983 | 358.2 |
| 1965 | 751 | 1984 | 391 |
| 1966 | 660.3 | 1985 | 420.3 |
| 1967 | 782.2 | 1986 | 590.5 |
| 1968 | 702.1 | 1987 | 466.4 |
| 1969 | 610.3 | 1988 | 707.1 |
| 1970 | 521.7 | 1989 | 612 |
| 1971 | 481.4 | 1990 | 403.1 |
| 1972 | 501.5 | 1991 | 679.5 |
| 1973 | 477 | 1992 | 713.5 |
| 1974 | 758.2 | 1993 | 603.9 |
| 1975 | 583.2 | 1994 | 964.7 |
| 1976 | 520.1 | 1995 | 613.2 |
| 1977 | 357.5 | 1996 | 730.4 |
| 1978 | 775.9 | 1997 | 601.6 |

Evolution de la pluviométrie annuelle de la station de Ouahigouya



ANNEXE N°3 :

Détermination des caractéristiques des bassins versants.

- Sur les plans topographiques 1/200 000^e, on délimite le bassin versant, on détermine la surface par planimétrie et le périmètre à l'aide d'un curvimètre. Les pentes moyennes longitudinales sont déterminées à partir des points cotés sur le bassin.

- **Indice de compacité** = $\frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$

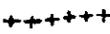
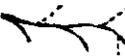
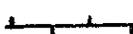
- **Longueur du rectangle équivalent** = $\frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$

ANNEXES N°4

Photo-interprétation

- Bassin versant du barrage de Gouinré (1952 et 1996)
- Bassin versant du barrage de Nagréongo (1952 et 1979)
- Bassin versant du barrage n°2 de Ouagadougou (1952 et 1979)
- Bassin versant du barrage de Salbisgo (1952 et 1981)
- Bassin versant du barrage de Thiou (1952 et 1984)
- Bassin versant du barrage de Louda (1956 et 1982)

Légende

-  Limite du bassin versant
-  Réseau hydrographique
-  Plan d'eau
-  Route
-  Piste
-  Sentier
-  Voie ferrée
-  Ville, gros village
-  Concessions
-  Champs
-  Maraîchage
-  Colline (point haut)
-  Escarpement
-  Végétation à forte densité
-  Végétation à densité moyenne
-  Végétation à faible densité
-  Sol nu

ANNEXES N°5

Régressions linéaires multiples

***** REGRESSION *****

CARACTERISTIQUES DU FICHER : C : REGMUL
TITRE : ENVASEMENT

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 5 NOMBRE DE VARIABLES : 3

TITRE DU DOSSIER : BARRAGES

| N° | NOM | MOYENNE | ECART-TYPE ECHANTILLONNAGE |
|--------------------|-----|---------|-------------------------------|
| 1 | P | 6.548 | 0.110 |
| 2 | S | 4.867 | 0.662 |
| VARIABLE EXPLIQUEE | | D | 4.090 |

MATRICE DES CORRELATION

| | P | S | D |
|---|---------|--------|--------|
| P | 1.0000 | | |
| S | -0.7261 | 1.0000 | |
| D | -0.6500 | 0.0031 | 1.0000 |

PROBA A L'INTRODUCTION = 5.00%
PROBA A L'ELIMINATION = 5.00%

PALIER 1 : VARIABLE 1 : P ENTREE

VARIABLE EXPLIQUEE : D

| VAR. | COEF. DE REGRESSION | ECART-TYPE | F(1 , 3) | PROBA (%) |
|------|---------------------|------------|------------|-----------|
| P | -6.5482 | 4.4201 | 2.195 | 23.50 |

TERME CONSTANT : 46.9679
ECART-TYPE RESIDUEL = 0.9685
r = 0.6500
r**2 = 0.4225

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

| SOURCE | SCE | D.D.L. | CARRES MOYENS | F | PROBA (%) |
|------------|-------|--------|---------------|--------|-----------|
| TOTALE | 4.872 | 4 | | | |
| REGRESSION | 2.059 | 1 | 2.0586 | 2.1948 | 23.50 |
| P | 2.059 | 1 | 2.0586 | 1.1948 | 23.50 |
| RESIDUELLE | 2.814 | 3 | 0.9379 | | |

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

| NOM | r**2 PARTIEL | F A L'INTRODUCTION | PROBA (%) |
|-----|--------------|--------------------|-----------|
| S | 0.8055 | 8.2825 | 10.21 |

PALIER 2 : VARIABLE 2 : S ENTREE

VARIABLE EXPLIQUEE : D

| VAR. | COEF. DE REGRESSION | ECART-TYPE | F(1 , 2) | PROBA (%) | r**2 PARTIEL |
|------|---------------------|------------|------------|-----------|--------------|
| P | -13.8050 | 3.4725 | 15.805 | 5.56 | 0.8877 |
| S | -1.6545 | 0.5749 | 8.283 | 10.21 | 0.8055 |

TERME CONSTANT : 102.5386

ECART-TYPE RESIDUEL = 0.5231

r**2 = 0.8877

R MULTIPLE = 0.9422

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

| SOURCE | SCE | D.D.L. | CARRES MOYENS | F | PROBA (%) |
|------------|-------|--------|---------------|--------|-----------|
| TOTALE | 4.872 | 4 | | | |
| REGRESSION | 4.325 | 2 | 2.1625 | 7.9026 | 11.31 |
| S | 2.267 | 1 | 2.2665 | 8.2825 | 10.21 |
| RESIDUELLE | 0.547 | 2 | 0.2736 | | |

PALIER 3 : VARIABLE 1 : P ELIMINEE

VARIABLE EXPLIQUEE : D

| VAR. | COEF. DE REGRESSION | ECART-TYPE | F(1 , 3) | PROBA (%) |
|------|---------------------|------------|------------|-----------|
| S | 0.0051 | 0.9629 | 0.000 | 99.19 |

TERME CONSTANT : 4.0648

ECART-TYPE RESIDUEL = 1.2744

r = 0.0031

r**2 = 0.0000

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

| SOURCE | SCE | D.D.L. | CARRES MOYENS | F | PROBA (%) |
|------------|-------|--------|---------------|--------|-----------|
| TOTALE | 4.872 | 4 | | | |
| REGRESSION | 0.000 | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 99.19 |
| S | 0.000 | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 99.19 |
| RESIDUELLE | 4.872 | 3 | 1.6241 | | |

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

| NOM | r**2 PARTIEL | F A L'INTRODUCTION | PROBA (%) |
|-----|--------------|--------------------|-----------|
| P | 0.8877 | 15.805 | 5.56 |

PALIER 5

AUCUNE VARIABLE SATISFAISANTE

| NOM | r**2 PARTIEL | F A L'INTRODUCTION | PROBA (%) |
|-----|--------------|--------------------|-----------|
| P | 0.4225 | 2.1948 | 23.50 |
| S | 0.0000 | 0.0000 | 99.19 |

ANNEXES N°6

Illustrations photographiques