



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1997

Présenté par :

KAMDEM Jean

ETUDE PREVISIONNELLE DE L'UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU (Cas de Pourra)

MENTION :

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée le _____ s No 306/97

Encadrement
U. NIGG

REMERCIEMENTS

Je remercie toute l'équipe du projet BKF 93/002 Volet A et tout particulièrement MM. :

- Adama COMPAORE , Coordonnateur National,
- Malick ALHOUSSEÏNI, Conseiller technique principal,
- Daouda YEYE, Responsable d'informatique,
- Eric MOUKORO, V.N.U.

pour le soutien constant qu'ils n'ont cessé de m'apporter pour ce travail, tout au long de mon séjour dans leur service.

Je tiens à remercier M. Daouda MAÏGA le Directeur, le personnel de la DRH/Nord à Ouayigouya et sincèrement M. Habdoulaye KOUDAKIDIGA qui m'ont transmis leurs expériences de terrain et dont cette étude tient largement compte.

A tout le personnel technique, le corps enseignant de l'EIER et plus particulièrement M. NIGG URS qui a assuré l'encadrement de ce mémoire, j'adresse vivement mes remerciements.

Enfin que mes camarades de la 26^e promotion trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

GO AWAY!
« Qui est toujours lui même ? »
A ma femme Gertrude KENMENE

SOMMAIRE

RESUME

INTRODUCTION

Pages

I- ETUDE SOCIO-ORGANISATIONNELLE

- 1- Caractéristiques physiques 3
- 2- La dynamique du village 3
- 3- Le projet de développement 5

II- LE BARRAGE DE POURRA

- 1- Généralités 6
- 2- Etat actuel du barrage 7
- 3- Etude des écoulements 11
- 4- Etude des apports solides 13
- 5- Evaluation des pertes dans la retenue 13

III- LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

- 1- L'hydrologie 16
- 2- Evaluation des ressources en eau souterraine 19
- 3- Le point sur l'exploitation des ressources en eau souterraine 20
- 4- Approche méthodologique de l'évaluation des ressources en eau souterraine 22

IV- LES BESOINS EN EAU

- 1- Les localités en étude 24
- 2- Les besoins en AEP 24
- 3- Les besoins pastoraux 26
- 4- Les besoins en eau des plantes 27

V- BILAN RESSOURCES-BESOINS

- 1- Bilan en AEP 29
- 2- Bilan pastoral 31
- 3- Bilan agricole 31

CONCLUSION

33

Bibliographie

Liste des tableaux

Sigles

Annexes

RESUME

L'eau, où es-tu ?

L'étude prévisionnelle de l'utilisation des ressources en eau de Pourra consiste en l'estimation des ses potentialités en eau souterraine et de surface afin de prévoir leur répartition à moyen terme dans les différentes utilisations.

Si les ressources en eau souterraine ne représentent que 0.6% de l'eau sur terre, leur mauvaise répartition affecte durement les pays sahéliens. Au Burkina Faso le phénomène est d'autant plus préoccupant que nombreux sont les cours d'eau qui tarissent annuellement pendant longtemps. Considérées ici comme la recharge des nappes, ces ressources constituent 5 à 15 mm pour une pluviométrie annuelle moyenne de 658 mm. En 2010, les besoins en AEP de Pourra et environs passeront à peine à 10% de cette recharge. Mais il ne faut pas perdre de vue les difficultés rencontrées dans son estimation. Les ressources ainsi chiffrées ne sont qu'un ordre de grandeur car la discontinuité des nappes en zone de socle, la méconnaissance des caractéristiques des différents aquifères rendent cette estimation malaisée. Localement, en hydraulique villageoise, les débits prélevés varient de 0.7 à rarement plus de 10 m³/h avec des taux de succès compris entre 20 et 80%. Il faudra encore quatre forages positifs pour combler le déficit, 40 m³/j, en AEP de Pourra à l'échéance 2010. Afin d'éviter la consommation des eaux polluées de surface, les implantations de ces nouveaux points d'eau devront être plus proches des habitations. Si l'opération s'avérait impossible alors le recours aux constructions des puits modernes captant la nappe phréatique à l'aval du barrage est inéluctable. Mais une grande attention sera portée à la qualité de ces eaux. Les besoins pastoraux et agricoles pourraient être satisfaits par la retenue si sa capacité était augmentée de 50% de son volume actuel qui est de 300 000 m³. L'opération est techniquement réalisable : en année décennale sèche, un volume de 1.5 millions de m³ d'eau de surface transite à l'exutoire du bassin versant. Le scénario 2 en donne les principaux atouts économiques qui riment avec son environnement.

L'amélioration des conditions de vie à Pourra et dans les localités voisines passe par la réhabilitation de leur unique barrage.

INTRODUCTION

Le Projet *BKF/93/002*, dénommé « Eau et Développement Régional » *EDR*, a débuté en 1993 sous la tutelle du ministère de l'Environnement et de l'eau, avec le soutien du Secrétariat des Nations Unies. Il vise à « contribuer aux objectifs d'amélioration des conditions de vie et des revenus des populations rurales par l'incitation des initiatives locales conduisant à la valorisation économique de l'eau ». Le volet A du Projet porte sur le « transfert de responsabilités du Ministère de l'Environnement et de l'Eau vers les communautés de base ». Cela signifie que les communautés rurales participent à l'identification des initiatives de base et se responsabilisent dans l'exécution et la gestion des projets sur l'eau productive, créatrice d'emplois et de revenus.

Dans la phase II actuelle, le Projet a organisé en 1995 des forums sur l'eau dans pratiquement tous les départements du pays. Des groupes villageois motivés se sont exprimés pour solliciter l'appui dans la valorisation de leurs initiatives de production liées à l'eau. Des centaines d'autres idées de projets comme celle de Pourra ont été retenues. Le cas de Pourra consiste en la valorisation de son barrage notamment par l'aménagement des périmètres irrigués.

Suite à la sélection, les projets retenus font l'objet d'analyses de factibilité ou d'étude de cas, qui débutent d'abord par la situation hydraulique de la localité. Avant d'entreprendre toute action de mise en valeur des infrastructures hydrauliques, le Projet veut s'assurer, comme prescrit dans le code de l'eau au Burkina Faso, que les besoins en approvisionnement en eau potable (*AEP*) des populations sont en priorité satisfaits. Cette démarche prudente est justifiée lorsque l'on veut éviter que d'éventuels conflits d'utilisation de ces eaux n'entravent le fonctionnement des aménagements dont les investissements sont fort coûteux.

Le présent rapport sur le cas de Pourra traite de l'étude prévisionnelle de l'utilisation des ressources en eau.

Le premier chapitre aborde l'étude socio-organisationnelle de Pourra. Il fait percevoir l'engouement des paysans à s'investir dans des activités de développement et de leur gestion.

L'existence du village tient à son barrage, l'unique dans un rayon de plusieurs kilomètres, qui malheureusement se remplit aussi vite qu'il ne s'assèche. Le deuxième chapitre traite de ce point d'eau dans son bassin versant, présente son diagnostic mais surtout l'urgente nécessité d'augmenter sa capacité qui n'excède pas 300 000 m³.

La lithologie du socle au droit de Pourra est constituée de roches granitiques. L'étude hydrogéologique de la zone est-elle concluante pour un approvisionnement en eau potable (eau souterraine) de Pourra et ses environs ? Le troisième chapitre apporte des éléments de réponse ainsi qu'une méthodologie simple de l'évaluation de ces eaux souterraines.

Que ce soit les eaux de surface ou souterraines, leur disponibilité devrait pouvoir satisfaire les besoins présents et futurs exprimés dans les utilisations auxquelles elles sont destinées. Les besoins en eau, c'est l'objet du quatrième chapitre.

Avant de conclure, les bilans ressources - besoins seront établis suivant les différents scénarios d'utilisation, ceci pour un choix plus réaliste conformément aux attentes actuelles et prévisionnelles des populations. Des recommandations ou suggestions suivront cette partie.

Chapitre I

ETUDE SOCIO-ORGANISATIONNELLE

I- ETUDE SOCIO-ORGANISATIONNELLE

I.1- CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Pourra est un village situé à 85 km de OUAHIGOUYA, dans le sud-est de la province du Yatenga, département de Rambo,. L'adoption d'un taux d'accroissement calculé (1.06 %)¹ à partir des recensements de 1985 et 1996 estime la population de Pourra à 1826 habitants en 1997.

Carte de situation

Il y règne un climat soudano - sahélien caractérisé par une longue saison sèche et une saison des pluies de juin à septembre. La pluviométrie annuelle varie entre 350 et 700² mm avec une moyenne de 650 mm. Les températures moyennes se situent entre 26 et 31°C. Le réseau hydrographique est constitué d'un sous affluent du Nakanbé qui alimente le barrage du village. Le relief est peu accidenté et marqué des sols ferrugineux tropicaux et de sols hydromorphes dans les bas fonds. La végétation est constituée d'une savane arbustive. L'agriculture et l'élevage occupent la quasi totalité de la population marquée à 95 % de Mossi. Les principales productions sont les céréales, (riz, mil, sorgho ...) pour les cultures pluviales et les productions maraîchères (oignons, tomates, chou,...). En année de bonne pluviométrie, Pourra jouit d'une relative autosuffisance alimentaire.

I.2- LA DYNAMIQUE DU VILLAGE

Le village est constitué de quatre groupements et d'une association des parents d'élèves.

Le groupement féminin : chaque membre participe aux travaux du champs collectif d'environ deux hectares et dispose en maraîchage d'une parcelle individuelle de 400 m². Les produits de vente alimentent partiellement une caisse dont les prélèvements servent à acheter les semences et à payer les formations reçues.

¹ annexe 1

² annexe 2

Le groupement villageois : les activités principales du groupement villageois concernent particulièrement les productions maraîchère et céréalière dans les grands champs. Il s'occupe également du reboisement et des travaux de conservation des sols.

Le groupement des éleveurs : pour l'élevage des bovins et petits ruminants, les éleveurs s'organisent pour entretenir le parc de vaccination, faire appel au vétérinaire, stocker et conserver les plantes fourragères, et acheter les produits dont ils ont besoin, notamment les aliments du bétail. L'effectif du cheptel est mal connu : les recensements pastoraux n'en donnent pas de chiffres au niveau des villages.

Le groupement des jeunes : les jeunes participent à la réalisation des travaux collectifs, organisent les activités culturelles et s'activent dans l'entretien des routes.

En matière d'infrastructures, le village dispose de trois points d'eau (deux puits modernes et un forage sous exploité du fait de son éloignement des habitations), une école, un collège, un dispensaire, une banque de céréales, le magasin des maraîchers, un parc à vaccination... Ces réalisations ont connu la contribution physique ou financière de tous les villageois ; les cotisations varient entre 100 et 500 f CFA par adulte. Elles sont également fonction de la qualité de la récolte. Ce dynamisme est encore plus prononcé dans la protection de l'environnement : tous les groupements participent aux travaux de reboisement ; 450 plants ont été mis à terre pendant la saison dernière.

Suivant les courbes de niveau, des cordons pierreux sont construits et font l'objet d'entretien régulier. La volonté manifeste d'organisation et de mobilisation des villageois est encouragée par des partenaires de développement comme les ONG (les Six « S », Sahel solidarité); l'ODE, la Mission catholique de Bokin et le CRPA dont les appuis techniques et financiers demeurent déterminants. D'autres aides non moins négligeables proviennent des ressortissants du village installés dans les grandes villes du pays ou à l'étranger. Le tableau 1 ci-dessous résume les occupations des différents groupements du village.

TABLEAU 1: Les occupations des différents groupements du village.

Type de groupement	Date de création	Nombre de membres	Activités
Féminin	1980	> 200	mil, arachide, riz, maraîchage
Villageois	1980	300	céréales, maraîchage, reboisement diguette
Éleveurs	1992	40	fouillage , parc à bétail
Jeunes	1980	300	animation, entretien route
Association des parents d'élèves	1980	260	gestion de la caisse, entretien des locaux

I.3- LE PROJET DE DÉVELOPPEMENT

L'eau de la retenue est communément utilisée par les agriculteurs et les éleveurs de Pourra et des villages environnants. Elle est insuffisante pour exploiter toutes les terres cultivables. Le mode d'appropriation de la terre n'est pas claire, même si on signale quelques petits³ conflits d'utilisation très vite réglés à l'amiable. Dans tous les cas, des précautions sont à prendre si l'on veut éviter que des mécontentements ne dégèrent en conflits. Le voeu actuel des populations est le développement de la riziculture sur les terres disponibles en aval du barrage. Les villageois espèrent que ce projet offrira suffisamment d'emplois à toutes les familles pour une amélioration certaine de leurs conditions de vie. A cet effet, ils disposent d'ores et déjà dans leur caisse, d'une somme de 150 000 f CFA et s'engagent à participer activement à tous les travaux lors de leur exécution. Quinze hectares pourraient être réellement exploités à l'aval du barrage.

³ *Rapport EAU VIVE p.31*

Chapitre II

LE BARRAGE DE POURRA

II- LE BARRAGE DE POURRA

II.1- GÉNÉRALITÉS

De coordonnées géographiques 01° 47' 42'' O ; 13° 07' 19'' N, il a été construit en 1979 par l'entreprise *KANAZOE*. Il constitue l'essentiel des ressources en eau de surface de Pourra. L'avant projet établi par l'*ONBI*⁴ précise que « *Le but du barrage : c'est de permettre l'enrichissement de la nappe phréatique, le maraîchage, l'eau pour les animaux.* ». La présence d'un ouvrage de prise témoigne d'un éventuel souci d'aménagement de périmètres irrigués en aval du barrage. Selon une étude faite en 1996 par l'*ONG* dénommée *EAU VIVE*, les terres sont disponibles pour l'aménagement d'un périmètre irrigué en aval du barrage. Elle précise néanmoins que les apports solides ont réduit la profondeur maximale d'eau à un mètre. Cette dernière information est d'autant plus discutable que l'ouvrage de prise est bien visible ! La retenue tarit en Mars. La fiche technique du barrage donne ses caractéristiques juste après sa construction. Les cotes y sont relatives.

II.1.1- Fiche technique du barrage

Barrage en terre

Côte de la digue :	9.00 m
Largeur de la crête :	3.50 m
Pente des talus amont/aval :	2/1
Côte du déversoir :	8.00 m
Longueur du déversoir :	150.00 m
Volume de la retenue :	300 000 m ³
Hauteur maximale d'eau dans la retenue :	2.00m

Protections :

Talus amont :	perré simple
Crête de la digue :	latérite compacté
Talus aval :	enherbement avec mur de crête contre l'érosion

Hydrologie :

Surface du bassin versant :	94 Km ²
Catégorie :	sahélien R2, P2
Pluie décennale :	100 mm
Pluie corrigée :	90 mm
Volume des pluies :	2.5 Millions de m ³

⁴Ancienne appellation de *ONBAH*. La fiche technique est extraite de l'avant projet.

II.2- ETAT ACTUEL DU BARRAGE

Le diagnostic actuel du barrage suscite quelques commentaires :

II.2.1- La cuvette

Elle est utilisée pour une production rizicole en hivernage et maraîchère en contre saison. Les cultures sont pratiquées dans la cuvette même de la retenue, sur une superficie d'environ dix hectares. Il est donc urgent d'interdire de cultiver le fond de la retenue afin d'en réduire l'envasement. Cette interdiction doit être accompagnée par la mise en fonction de la prise, c'est à dire, en conséquence, l'aménagement du périmètre auquel elle était destinée.

II.2.2- La digue

Elle est longue d'environ 1200 m. Les talus amont et aval ne connaissent pas de détérioration importante si on en croit la régularité du perré de protection. En effet on n'observe pas de glissement ni d'affaissement notoires. La présence remarquable des arbustes par endroits sur les talus risque de favoriser l'infiltration dans la digue. Sur toute sa longueur, la digue a connu un rehaussement de 50 cm de béton. Ce travail est réalisé sans assistance technique par les villageois en 1994, suite à sa submersion par une crue exceptionnelle.

II.2.3- Le déversoir

Il s'agit d'un déversoir latérale situé sur un petit axe de drainage, en rive droite du bassin versant ; ce qui peut expliquer l'absence d'une érosion régressive. Il a connu aussi un rehaussement de 50 cm mais les fuites au niveau des joints sont signalées relativement importantes. Il est même possible que l'augmentation de la hauteur du déversoir n'a pas induit une augmentation sensible de la capacité de la retenue : le faible encaissement de la cuvette semble être une des causes.

II.2.4- L'ouvrage de prise ⁵

Il peut aussi servir à vidanger la retenue puisqu'il reçoit actuellement les eaux à la côte la plus basse, environ 6.50 m. La vanne se trouve en aval de la digue sur une conduite de diamètre 200 mm, dans un petit bassin de tranquillisation qui se termine par une amorce du canal principal (tête morte). La prise n'est pas ensevelie par des dépôts solides et peut bien fonctionner si le périmètre à irriguer est aménagé.

⁵ voir les images de la page 10

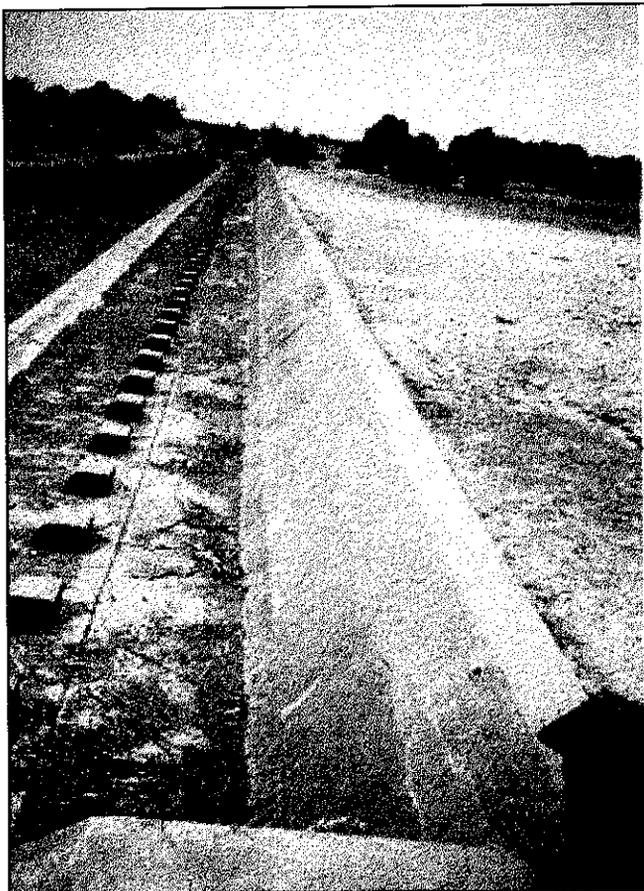
II.2.5- L'aval du barrage

Des parcelles y sont cultivées en hivernage mais moins qu'en saison sèche. Dans ce cas la nappe phréatique est exploitée par des puits traditionnels pour l'arrosage. Cette nappe est certainement alimentée par l'infiltration sous la digue. Les profondeurs des puits n'excèdent pas trois mètres. Outre les besoins agricoles, ces puits contribuent à la satisfaction des besoins pastoraux et même domestiques.

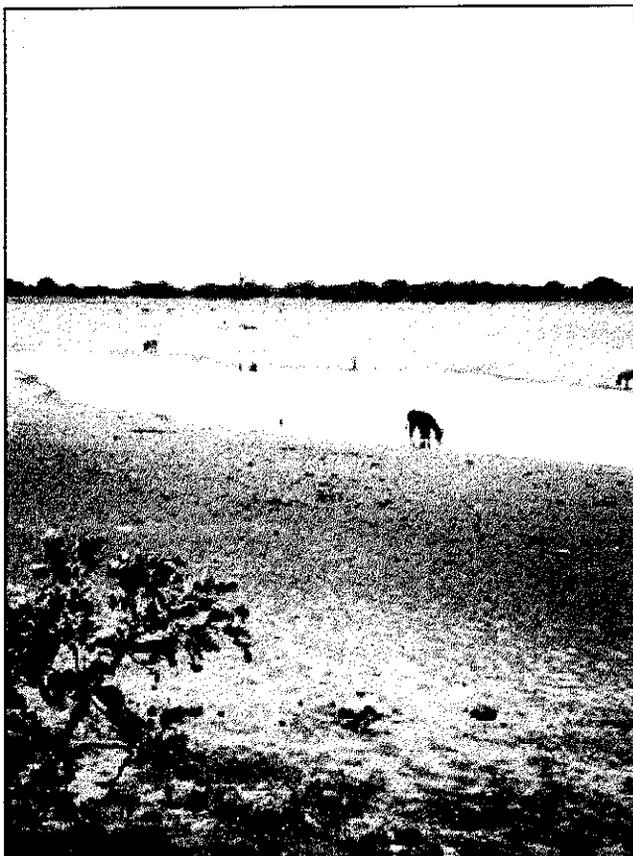
II.2.6- Capacité du barrage

L'avant projet l'estime à 300 000 m³. Avec le rehaussement du déversoir de 50 cm, l'étude de cas réalisé par le projet BKF l'évalue à 325 000 m³. La difficulté réside sur le plan de la retenue dont les courbes de niveau sont incomplètes. Seul un levé topographique de la cuvette et proximité amont peut permettre une estimation plus précise du volume de la retenue. A défaut de ce levé, nous avons filé par extrapolation les courbes de côtes 8.00 m et de 8.50 m. A cette dernière, le volume correspondant est d'environ 500 000 m³⁶. Les travaux sur la digue n'ont pas été poursuivis en longueur : il y a donc possibilité de déversement latéral. Pour ces raisons, nous retiendrons un volume de 300 000 m³. Ce volume ne tient pas compte des apports solides calculés par la suite. Nous constateront au paragraphe suivant que la capacité du barrage est insignifiante devant les apports par l'étude des écoulements du bassin versant.

⁶ voir annexe 3



Déversoir du barrage



Etat de la cuvette en mi-mai
1997

On peut remarquer l'eau dans le barrage, provenant d'une pluie irrégulière.



Ouvrage de prise
La vanne de l'ouvrage de prise et l'amorce du canal d'irrigation.



Ouvrage de prise et talus amont
On observe en arrière plan le rehaussement de la digue par du béton..



L'aval du barrage
Le niveau statique de la nappe phréatique n'excède pas 3 m..

II.3- ETUDE DES ECOULEMENTS

Il convient de savoir quels sont les apports en écoulement dans la retenue.

Les relevés pluviométriques⁷ et de température sont ceux de la base des données du projet BKF/93/002, volet B, provenant des services de la météorologie nationale . La pluie annuelle moyenne est $P = 658$ mm et la température annuelle moyenne $T = 28.75$ °C.

* Méthode de Turc

Le déficit d'écoulement est donné par l'expression :

$$D = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

avec :

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3.$$

Cette méthode n'est pas applicable ici puisqu'elle conduit à un déficit d'écoulement supérieur à la pluie moyenne annuelle ($D > P$) avec $D = 662$ mm et $P = 658$ mm.

* Méthode de Coutagne

On trouve, pour les mêmes valeurs de température et de pluie :

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14 * T) ;$$

avec $T = 28.75$ °C , on a $\lambda = 0.207$

$$\left| \begin{array}{l} 1/(8*\lambda) = 0.604 ; \quad 1/(2*\lambda) = 2.42 \\ 0.604 < P = 0.658 < 2.42, \end{array} \right.$$

le déficit d'écoulement se calcule alors par la formule

$$D = P - \lambda P^2,$$

soit $D = 0.568$ mm

Le coefficient d'écoulement K_e vaut :

$$K_e = (P - D) / P$$

$$K_e = 0.14$$

La quinquennale et décennale sèches sont respectivement :

$$P_5 = 540 \text{ mm et}$$

$$P_{10} = 480 \text{ mm.}$$

⁷ annexe 2

Pour un bassin versant de 94 km², on trouve respectivement des volumes écoulés de 7.106 et 6.317 millions de m³.

L'ONBAH adopte :

$$Ke_5 = 0.70 * Ke \quad \text{et}$$

$$Ke_{10} = 0.5 * Ke.$$

Dans ce cas on trouve, dans le même ordre, des volumes de 6.061 et 4.329 millions de m³.

Le CIEH et l'ORSTOM préconisent dans la région, des apports moyens annuels ou débits spécifiques de l'ordre de 0.5 à 1 l/s/Km². Avec son bassin versant de 94 Km², le volume des apports moyens annuels à Pourra est de :

$$2\,223\,300 \text{ m}^3 \text{ avec l'adoption de } 0.75 \text{ l/s/ Km}^2$$

A partir des observations hydrologiques, le bureau d'étude *C. LOTTI et ASSOCIATI ROMA* estiment le coefficient d'écoulement en fonction de la pluie moyenne et de la superficie du bassin versant. Il en ressort que pour 100 Km² et 600 mm de pluie, le coefficient d'écoulement vaut $Ke = 3.5 \%$. Appliqué au bassin versant de Pourra, on trouve en année décennale sèche un volume d'écoulement de :

$$Ve = 1\,579\,200 \text{ m}^3 .$$

* **Le barrage de DYERE** dans le Passoré, non très loin de la zone d'étude, a une superficie qui est 2.05 fois plus grande mais pratiquement de même pluviosité : 674 mm, et de même capacité que Pourra : 300 000 m³. Les mêmes auteurs avancent des coefficients d'écoulement de 2.5 et 4 % en année décennale sèche et moyenne respectivement. Soit, pour le cas de Pourra,

$$Ve = 0.025 * 658 * 94 \text{ en année sèche décennale}$$

$$\underline{Ve = 1\,546\,465 \text{ m}^3}$$

Il est à noter que cette valeur est inférieure à 2.55 millions de m³ de l'avant projet *ONBI*

Cette dernière valeur, minimale, est celle retenue. Elle est 4.5 fois supérieure à la capacité de la retenue.

II.4- ETUDE DES APPORTS SOLIDES

* **Gottshack** estime la dégradation spécifique annuelle par l'expression :

$$D = 260 * S^{-0.1} \quad (\text{m}^3/\text{an}/\text{Km}^2).$$

Elle vaut alors 165 m³/an/Km² à Pourra et le volume des apports atteint 15 500 m³/an.

Si on prend en compte la capacité du barrage, on aurait une durée théorique de vie d'environ 19 ans ! Ce qui contredit la réalité du terrain : le barrage a pratiquement cet âge et malgré les dunes de dépôts réellement observées dans la cuvette, l'ouvrage de prise est presque intact.

* **Selon Gresillon**, le volume des apports solides s'exprime par :

$$V_a = 700 * (P / 500)^{-2.2} * S^{-0.1},$$

soit $V_a = 296 \text{ m}^3/\text{an}$ ou

$$V_a = 3.14 \text{ m}^3/\text{an}/\text{Km}^2 \quad \text{à Pourra.}$$

* **ORSTOM** conseille 6.2 m³/an/Km² et les auteurs cités précédemment pour leurs études dans la vallée des lacs avancent 4 m³/an/Km² pour des retenues présentant des volumes déversés annuels très importants. On aurait alors :

$$V_a = 4 * 96 = 376 \text{ m}^3/\text{an} \quad \text{ou}$$

$$V_a = 6768 \text{ m}^3 \quad \text{en 1997.}$$

Un volume d'apports solides de 20 000 m³ serait en deçà de la réalité puisque la pratique des cultures dans la retenue facilite le transport et le dépôt des terres érodées mais ce terme est négligeable comme l'indiquent les images de la page 10.

II.5- EVALUATION DES PERTES DANS LA RETENUE

II.5.1- Infiltration

En phase d'avant projet sommaire, on estimerait l'infiltration entre 1 et 3 mm/jour. Pour le cas présent, le charriage des fines en 19 ans aurait à ce jour rendu quasi imperméable le fond de la retenue. Pour cette raison, l'infiltration est négligée devant l'évaporation. En revanche, c'est elle qui rechargerait la nappe phréatique à l'aval du barrage.

II.5.2- Evaporation

Pouyaud exprime l'évaporation sur la retenue par l'expression :

$$E_{ret} = 1.664 * E_{bac} A^{0.602}$$

Avec :

E_{ret} : évaporation sur la retenue (mm/j)

E_{bac} : évaporation Bac classe A (mm/j.)

Les relevés agrométéorologiques⁸ de la station synoptique de Kongoussi (1991-1992) permettent de dresser le tableau 2 ci-dessous pour le calcul de l'évaporation sur la retenue.

TABLEAU 2 : Données agrométéorologiques de la station de Kongoussi

	Vent (m/s)	Température moyenne.(°C)	Humidité relative (%)	Evaporation bac A (mm/j)	Vitesse du vent (km/j)
Janvier	2.3	23.2	36.9	6.3	199
Février	1.8	26.4	31.4	7.7	156
Mars	0.8	29.3	32.7	8.2	70
Avril	1.8	31.6	34.2	8.6	156
Mai	2.2	31.7	54.4	7.9	190
Juin	2.3	30.6	65.3	7.6	199
Juillet	2.0	28.6	71.9	6.3	173
Août	2.3	27.3	77.2	6.0	199
Septembre	2.5	29.3	71.3	5.9	216
Octobre	1.3	30.1	63.9	6.3	113
Novembre	1.6	26.3	44.9	6.6	139
Décembre	1.6	24.3	40.9	6.0	139

L'application de la formule de *POUYAUD* donne les valeurs journalières de l'évaporation sur la retenue. Elles sont présentées dans le tableau suivant. Les valeurs

⁸ La reprise des observations sur cette station est récente.

mensuelles en sont déduites. Globalement elles représentent 80 % de l'évaporation bac classe A ; coefficient généralement admis.

TABLEAU 3 : Evaporation journalière et mensuelle sur la retenue de Pourra.

période	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept	oct.	nov.	Déc.
Evaporation bac A (mm/jour)	6.3	7.7	8.2	8.6	7.9	7.6	6.3	6.0	5.9	6.3	6.6	6.0
Evaporation retenue (mm/jour)	5.0	5.7	5.9	6.1	5.8	5.6	5.0	4.9	4.8	5.0	5.2	4.9
Evaporation retenue (mm/mois)	155.0	159.6	182.9	183.0	179.8	168.0	155.0	151.9	144.0	155.0	156.0	151.9
$\frac{\text{Evaporation retenue}}{\text{Evaporation bac A}}$ (%)	79	74	72	71	73	74	79	82	81	79	79	82

Pendant la période d'utilisation des eaux du barrage (octobre à mars), l'évaporation réduit la charge de près d'un mètre de hauteur d'eau c'est à dire pratiquement la moitié de sa capacité totale. Ce constat laisse prévoir une utilisation plus rapide des eaux du barrage. Il s'agit d'utiliser l'eau le plus rapidement possible avant que le rayonnement solaire n'ait le temps de l'évaporer. Les cultures maraîchères commencent en novembre-décembre ; pendant ce temps, il s'avère intéressant de pratiquer une irrigation rizicole d'appoint sur les périmètres à aménager.

Chapitre III

LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

III- RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

III.1- L'HYDROGÉOLOGIE

Trois types de réservoirs peuvent être distingués dans le milieu hydrogéologique de la zone d'étude : la cuirasse latéritique, l'altération et la zone de fissures et de fractures.

III.1.1- La cuirasse latéritique

Elle a une perméabilité élevée, une extension discontinue et une épaisseur pouvant atteindre 10 m . Elle reste noyée en permanence dans les bas fonds pendant les années à pluviosité normale et est généralement captée par les puits traditionnels. Les puits modernes ne captent presque jamais uniquement les cuirasses. Les caractéristiques des cuirasses latéritiques sont :

- perméabilité $K = 8 \text{ à } 80 * 10^{-5} \text{ m/s}$,
- transmissivité $T = 20 \text{ à } 200 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$,
- coefficient d'emmagasinement $S = 0.5 \text{ à } 30\%$ moyenne 6%⁹;

Les cuirasses forment un réservoir superficiel et mince et les volumes d'eau entrant et sortant sont élevés par rapport au volume du réservoir ; ce qui le rend vulnérable. Les puits traditionnels creusés par les paysans autour du barrage produisent une quantité d'eau non négligeable pour l'alimentation du bétail. L'infiltration dans la retenue alimente ce réservoir superficiel. La qualité de cette nappe est discutable. Sa fluctuation saisonnière moyenne est d'environ 1.50 m ; si l'on prend un coefficient d'emmagasinement moyen de 6 %, on aboutit à une recharge 900 000 m³/km²

III.1.2- L'altération

Elle peut constituer un réservoir d'eau souterraine grâce à sa haute porosité. Sa perméabilité généralement faible limite ses réserves exploitables. Dans les zones schisteuses (Rambo, Kalsaka, Tikaré), on rencontre de fortes épaisseurs d'altération variant entre 35 et 45 m, parfois dépassant 70 m

Le volume d'eau stocké dans les altérites par mètre saturé est de l'ordre de 20000 à 100000 m³/km². Des essais de courte durée (2 heures de pompage et 4 heures de remontée) exécutés sur 185 forages dans la province du Yatenga ont permis d'étudier la relation entre la

⁹ Ces valeurs sont extraites de *Etude des ressources en eau souterraine dans le Yatenga*

transmissivité du sous sol et l'épaisseur de la zone d'altération en fonction de la lithologie de la roche mère. Il ressort que les deux lithologies (granitique et schisteuse) sont opposées quant au développement de la transmissivité par les processus d'altération. La transmissivité des formations granitoides augmente avec la profondeur du socle tandis qu'elle diminue avec cette profondeur pour les formations schisteuses. L'exploitation des fiches techniques des essais de pompage et de coupes hydrogéologiques¹⁰ des forages de Pourra et ses environs montre que les altérations généralement argileuses sont presque imperméables : les premières venues d'eau s'observent plutôt dans la zone de fissures ou de granites altérés. Les nappes y sont fréquemment captives comme l'indiquent les remontées des niveaux piézométriques observées sur les coupes hydrogéologiques des forages. Ici les ressources en eau sont négligeables.

III.1.3- La zone de fissures et de fractures

C'est une zone broyée de fissures et de fractures, avec des dimensions très variables et discontinues, qui drainent directement ou indirectement la nappe d'altération argileuse. Cette zone peut induire un écoulement régional parfois important car dépendant de la géométrie des fissures et fractures et du degré d'interconnexion des différents réseaux. La pérennité de ce réservoir est déterminée par la situation du niveau piézométrique par rapport au toit du socle, par la continuité de l'alimentation à partir des altérites et par l'interconnexion des différents réseaux de fractures. On retient pour caractéristiques hydrauliques de cet aquifère :

- perméabilité de 0.04 à 0.24 m/s,
- transmissivité de 0.04 à 4 m²/s
- coefficient d'emmagasinement de 0.002 à 2%.

Les granites anciens sont les zones les plus prolifiques. Cette zone regorge d'importants gisements d'eau captés très souvent par les forages.

III.1.4- Variations piézométriques

Une étude faite en 1989 par le *CIEH et IWACO*¹¹ sur 350 points d'eau visités dans le Yatenga démontre que la surface piézométrique suit en général la topographie du bassin versant; les axes des bassins versants semblent drainer la nappe. La pente moyenne de la

¹⁰ voir annexe 4

¹¹ Sa base de données est disponible au projet Appui à la DEP/EAU

surface est de 1/2000° vers le sud;. La quantification du transfert d'eau dans le sous sol de la localité est mal connue. Après la longue sécheresse des années 70 à 80 la tendance actuelle des fluctuations saisonnières et pluriannuelles semble être à la hausse¹².

III.1.5- La recharge des nappes

C'est la lame d'eau annuellement infiltrée jusqu'au milieu aquifère. Elle peut être directe ou indirecte. Lorsqu'elle est directe, elle se fait par voie préférentielle (canicules, fractures, filons de quartz). L'eau percolle rapidement vers les nappes. L'infiltration peut se faire aussi par front d'humidité. Ces mécanismes varient dans le temps et dans l'espace. Dans la zone d'étude, Pourra et ses environs, la recharge par front d'humidité domine. L'évolution des ressources en eau est déterminée par deux facteurs principaux : la sécheresse et la dégradation de l'environnement. L'influence de la pluviométrie sur la nappe est montrée par les observations piézométriques, inexistantes dans la zone d'étude. La tendance à la baisse a été observée suite à la sécheresse, d'environ 0.5 m par an, de 1978 à 1985 (piézomètre du CIEH à Ouagadougou)¹¹. Depuis cette date, le niveau de la nappe semble stabilisé et actuellement la tendance est à la remontée. Par ailleurs, la dégradation de la végétation favorise la formation d'une croûte superficielle imperméable.

Comme l'indiquent les cartes des ressources en eau souterraine, les localités en étude connaissent une recharge annuelle qui varie entre 5 et 10 mm représentant en moyenne moins de 10% de la pluviométrie. L'exploitation de ces cartes fournit les valeurs du tableau ci-dessous. Les surfaces y sont planimétrées. On remarque que malgré une recharge relativement considérable, les potentialités d'une exploitation intensive (débit supérieur à 5 m³/h) sont médiocres ou mauvaises. Le recharge et la ressource en eau souterraine sont confondues.

¹² annexe 5

TABLEAU 4 : Caractéristiques hydrogéologiques des localités étudiées

UNITÉS HYDROGÉOLOGIQUE	GE	BE	SE	SC
Signification	G = granite anté birimiens E = sols ferrugineux dégradés, relief faible, buttes cuirassées	B = granite syntectonique et migmatites E = sols ferrugineux dégradés, relief faible, buttes cuirassées	S = schistes birimiens E = sols ferrugineux dégradés, relief faible, buttes cuirassées	S = schistes birimiens E = sols vertiques et bruns, eutrophes dégradés, collines et dépressions périphériques
Localités	Pourra, Rambo, guibaré Bokin, kirsi	Rambo, Kalsaka, Bokin	Rambo, Kalsaka, Kirsi, Bokin	Tikaré
Réserve totale	100 à 200 mm	200 à 400 mm	400 à 900 mm	400 à 900 mm
Recharge	5 à 15 mm/an	5 à 15 mm/an	5 à 15 mm/an	15 à 30 mm/an
Profondeur moyenne forage	61 m	60 m	65 m	62 m
Pourcentage de réussite	66 %	62	64	70
Débit moyen	2.9 m ³ /h	3.7	2.9	3.4
Niveau statique	20 m	18	11	16
Exploitation extensive	mauvaise	mauvaise	mauvaise	médiocre
Exploitation intensive	mauvaise	médiocre	médiocre	médiocre

III.2- EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

Le tableau qui suit est établi à partir des cartes des ressources en eau souterraine. Il indique les ressources ou recharges annuelles minimales et moyennes théoriquement exploitables. Les surfaces des unités hydrogéologiques sont planimétrées. Une localité peut faire l'objet de plusieurs unités hydrogéologiques ; dans ce cas l'unité retenue est celle qui occupe la surface la plus importante. Pour évaluer le volume des ressources en eau souterraine d'une localité, il suffit de faire le produit de la recharge par la surface de l'unité hydrogéologique en question.

TABLEAU 5 : Ressources en eau souterraine

	Superficie (km ²)	Unité hydrogéologique	Réserve totale minimale (10 ³ m ³)	Réserve totale moyenne (10 ³ m ³)	Ressource minimale (10 ³ m ³ /an)	Ressource moyenne (10 ³ m ³ /an)
Pourra	100	GE	10 000	15 000	500	1 000
Rambo	268	SE	107 200	174 200	1 340	2 680
Kalsaka	100	SE	40 000	65 000	500	1 000
Kirsi	220	GE	22 000	33 000	1 100	2 200
Bokin	468	GE	46 800	70 200	2 340	4 680
Guibaré	116	GE	11 600	17 400	580	1 160
Tikaré	185	SC	74 000	120 250	925	1 850

Comparées aux réserves totales, les ressources annuelles n'en excèdent presque pas les 5%. Il faut reconnaître que ces chiffres indiquent beaucoup plus des ordres de grandeur traduisant que les centres concernés sont relativement assez bien pourvus en eau souterraine. Il est intéressant cependant de connaître localement l'état de leur exploitation.

III.3- LE POINT SUR L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

III.3.1- La politique actuelle ¹³

Pour l'approvisionnement en eau potable des villages, il s'agit de construire des forages à pompe manuelle et des puits modernes. Cette politique a fortement amélioré la situation de l'hydraulique villageoise bien qu'on rencontre de nombreux problèmes comme l'entretien des pompes à main. En général le problème des ressources ne se pose pas en hydraulique villageoise parce que les débits ponctuels impliqués sont peu élevés, de l'ordre du m³/h. Les ressources en eau souterraine permettent une exploitation extensive sans épuisement de réserves sauf dans le cas d'une exploitation intensive. Le plan quinquennal 86-90, en référence à la décennie de l'eau, s'est fixé pour objectif de fournir 20 l/h/j d'eau saine aux populations rurales. En nombre de points d'eau, cela revient théoriquement à construire un point d'eau moderne par tranche de 500 habitants, en d'autres termes cela correspond à un débit d'exploitation de 1 m³/h pour un temps d'exploitation journalière de dix heures. Soit :

$$500 \text{ h} * 20 \text{ l/h/j} = 1 \text{ m}^3/\text{h} * 10 \text{ heures de pompage/j} = \underline{10 \text{ m}^3/\text{j}}$$

III.3.2- La qualité des eaux

Environ 51% ¹⁴ de la consommation humaine sont fournis par des sources d'eau de qualité douteuse (puits traditionnels, puisards, eau de surface). La qualité naturelle chimique des eaux souterraines dans la région est en général bonne. On indique néanmoins une surconcentration des nitrates dans un forage de Ramsa dans le département de Séguénéga. Dans la littérature existante, on apprend que la pollution des eaux souterraines est surtout causée par les ordures domestiques, la concentration du bétail autour des points d'eau, les mauvaises conditions hygiéniques et le drainage insuffisant de l'aire de puisage. Les eaux sont

¹³ Inventaire national sur la situation de l'approvisionnement en eau potable

¹⁴ Etude du schéma directeur de l'approvisionnement en eau potable du Burkina Faso.

donc surtout polluées dans les habitations et alentours , justement le site préférentiel pour un forage destiné à l'AEP ! Pourra n'en est pas épargné.

III.3.3- La desserte

Quelques définitions sont nécessaires à la compréhension du tableau suivant qui fait le point de l'AEP des départements concernés au 31 mars 1990 :

- points d'eau permanent = puits permanents et forages en état.
- points d'eau à réhabiliter = puits temporaires et pompes à réparer.
- total des points d'eau = puits permanents + forages en état + points d'eau à réhabiliter.
- taux de fonctionnalité = (nombre de points d'eau permanents*100)/(nombre de points d'eau total).
- taux de desserte = (nombre de points d'eau *100)/(nombre de points d'eau à l'horizon 1990).

Ce tableau montre que les populations ne sont pas entièrement desservies en points d'eau. De plus certaines n'exploitent ces eaux qu'au gré des saisons comme le fait penser si bien l'expression du taux de fonctionnalité.

TABLEAU 6 : Situation des infrastructures en hydraulique villageoise.

Province Département	BAM		PASSORE		YATENGA	
	Guibaré	Tikaré	Bokin	Kirsi	Kalsaka	Rambo
Population	18967	43271	57575	33572	44396	28347
Puits permanents (1)	12	35	46	4	11	16
Puits temporaires (2)	25	54	17	33	37	19
Forages en état (3)	26	73	76	25	49	21
Pompes à réparer (4)	6	21	8	3	5	6
Forages non équipés (5)	0	10	6	0	2	2
Retenues permanentes (6)	1	9	3	0	2	1
Retenues temporaires (7)	8	36	6	21	61	25
Puits traditionnels (8)	151	546	853	177	657	219
Points d'eau à réhabiliter (9 = 2 + 4)	31	75	25	36	42	25
Points d'eau permanents (10 = 1 + 3)	38	108	122	29	60	37
Taux de desserte % (11)	85		88		60	
Taux de fonctionnalité % (12)	58		63		64	

L'*annexe 6* met en valeur la captivité des nappes rencontrées mais aussi les débits exploitables. On ne connaît malheureusement pas les débits de certains forages même déclarés positifs. On s'aperçoit cependant que certains villages sont totalement couverts par des débits cumulés importants. C'est le cas de Bokin (23 m³/h), de Guibaré (27 m³/h) et de Kirsi (40 m³/h). A titre comparatif, on peut se permettre le cumul des débits quand on sait qu'ils sont extensifs et que les gisements sont relativement importants. Par ailleurs le tableau fournit les distances maximales des points d'eau aux habitations dont certaines se situent au delà de 2 km. Pour cette raison, une bonne frange de la population continue à utiliser les points d'eau traditionnels, remettant ainsi en cause l'amélioration sanitaire recherchée.

III.4- APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

En règle générale, les essais de pompage de longue durée, fournissent en plus du débit disponible, des caractéristiques sur l'aquifère en particulier sa transmissivité et son coefficient d'emménagement, avec de bonnes précisions. Le suivi des piézomètres régulièrement captant la nappe supposée étendue, renseigne sur ses fluctuations saisonnières et pluriannuelles. Au delà de l'aspect purement géologique, les essais de pompage et le suivi des piézomètres sont les deux points les plus déterminants dans l'évaluation des ressources renouvelables en eau souterraine.

Dans presque tout le pays et singulièrement dans la zone de Pourra et environs, les données concernant ces paramètres techniques sont pratiquement inexistantes ou imprécises. Par exemple avec un coefficient d'emménagement fourni par la documentation et variant de 0.002 à 2 % et une fluctuation du niveau piézométrique de 30 m, les ressources en eau souterraine correspondante varient entre 600 et 600 000 m³/km²; l'écart est si important que même la moyenne ne traduirait pas la réalité. A ces difficultés s'ajoute la discontinuité des nappes en zone de socle. A défaut d'appliquer la méthode scientifiquement reconnue, nous avons suivi dans cette étude une approche qui nous semble comparative et qui s'énonce en deux étapes :

1. la première consiste en l'exploitation de la carte hydrogéologique et surtout de celles des ressources en eau souterraine faites par le bureau d'étude *IWACO* dans le cadre du Projet *Bilan d'Eau*.

2. la deuxième s'intéresse localement aux débits ponctuels exploitables des points d'eau dans l'hypothèse que si ces débits peuvent satisfaire les besoins des populations alors on peut considérer que les ressources en sont suffisantes ou importantes.

Première étape :

Les cartes des ressources en eau souterraine sont établies sur la base du suivi des centaines de points d'eau, des piézomètres et des essais de pompage plus ou moins normalisés, pendant la durée du Projet. La recharge annuelle y est définie comme ressource exploitable. Elle donne, en fonction des unités hydrogéologiques, la fourchette de la recharge en millimètre de hauteur d'eau. La connaissance de la superficie de cette unité permet alors d'en savoir le volume annuel rechargé c'est à dire le volume de la ressource en eau souterraine de la localité. Le Projet *Bilan d'Eau* s'est particulièrement préoccupé de l'étude des ressources en eau dans le Yatenga. Il précise que les valeurs sont grossièrement calculées. Ceci paraît justifié par les difficultés énumérées plus haut. Pour compléter cette première évaluation il faut examiner les caractéristiques des points d'eau des différentes localités et particulièrement leurs débits.

Deuxième étape :

La deuxième étape est une étude locale des points d'eau. Seuls les forages positifs (débit supérieur à 0.7 m³/h) sont pris en compte. Ils sont obtenus de la base de données de la *DGH* et complétés par le recensement le plus récent, même partiel comme celui de *Gauff Ingénieure* utilisé dans ce rapport. Même si les ressources ne peuvent être chiffrées, du moins, les débits prélevés et surtout ceux disponibles, nous fournissent des renseignements. On pourra alors dresser un tableau comme celui de l'*annexe 6* présentant les caractéristiques des forages, notamment leur débit. Pratiquement les localités bien pourvues peuvent prétendre construire des postes d'eau autonome ou faire l'objet de mini adduction d'eau potable. Localement, l'évaluation des ressources connaît de sérieuses difficultés ; les services en charge des travaux de foration foisonnent, pourtant la plupart des forages mis en exploitation ont leur débit tout simplement estimé quand ils ne sont pas omis.

Chapitre IV

LES BESOINS EN EAU

IV- LES BESOINS EN EAU

IV.1- LES LOCALITÉS EN ÉTUDE

La délimitation d'un rayon de 20 km autour de Pourra englobe entièrement les départements de Rambo dans le Yatenga et partiellement ceux de Kalsaka dans le Yatenga, Kirsi et Bokin dans le Passoré, Guibaré et Tikaré dans le Bam. L'idée est de savoir si, à terme, ces populations auront suffisamment d'eau pour leur *AEP* pour que soient évités des conflits d'utilisation du barrage. Ces agglomérations sont les plus importantes dans leur département. Leurs besoins en *AEP* sont comparés à leurs ressources dans le temps.

IV.2- LES BESOINS EN *AEP*

IV.2.1- Taux d'accroissement de la population

Le recensement de 1985 donne un taux d'accroissement annuel général de 2.7 % , cette valeur varie d'une province à l'autre: 0.8% dans le Yatenga et le Passoré, 1.2% dans le Bam. Le résultat partiel du récent recensement (1996)¹⁵ donne des chiffres au niveau des départements. La connaissance de ceux de 1985 et de 1996 nous permet d'en déduire un taux d'accroissement moyen au niveau des villages importants que nous adoptons pour l'extrapolation de la population dans l'avenir. La relation utilisée est :

$$P_n = P_0(1 + a/100)^n$$

avec:

P_n : population à l'année finale

P_0 : population à l'année initiale

a : taux d'accroissement (%)

n : nombre d'années.

On remarquera que bien que les taux d'accroissement ainsi calculés¹⁶ soient plus élevés que ceux de 1985, ils restent inférieurs à celui global du pays. Cela implique une augmentation des besoins en *AEP* . On se trouve dans le cas défavorable mais dans des proportions acceptables. Les échéances sont prises aux années 2000, 2005 et 2010.

¹⁵ Source de l'INSD

¹⁶ Annexe 7

IV.2.2- Les besoins spécifiques en AEP

La décennie de l'eau, 1980 à 1990, prévoyait dans ses objectifs, la satisfaction en eau potable des populations rurales par une disponibilité de 20 litres/habitant/jour. Jusqu'ici cette valeur est restée sans changement et continuera certainement de l'être jusqu'en 2000¹⁷. *Bilan d'eau* prévoit 23 litres/habitant/jour en 2005. Pour la présente étude, nous avons maintenu 20 litres/habitant/jour en 2000, et 25 litres/habitant/jour au delà. Cette estimation nous semble raisonnable quand on sait que les besoins en AEP des populations rurales n'ont pas augmenté considérablement d'une décennie à l'autre.

TABLEAU 7 : Besoins en AEP suivant les échéances.

	Paramètres	1997	2000	2005	2010
Pourra	Nombre d'habitants	1826	1885	1986	2094
	Besoins (m ³)	13332	13759	18126	19103
Rambo	Nombre d'habitants	5790	5975	6297	6637
	Besoins (m ³)	42265	43618	57462	60561
Kalsaka	Nombre d'habitants	5074	5308	5722	6168
	Besoins (m ³)	37040	38747	52212	56284
Kirsi	Nombre d'habitants	4755	5152	5889	6732
	Besoins (m ³)	34709	37609	53740	61431
Bokin	Nombre d'habitants	5963	6451	7357	8389
	Besoins (m ³)	43528	47095	67129	76548
Tikaré	Nombre d'habitants	5496	6130	7354	8823
	Besoins (m ³)	40117	44748	67106	80508
Guibaré	Nombre d'habitants	2328	2572	3038	3587
	Besoins (m ³)	16995	18779	27720	32735

¹⁷ Etude du schéma directeur de l'approvisionnement en eau potable du Burkina Faso

IV.3- LES BESOINS PASTORAUX

IV.3.1- Le taux de croît du cheptel

Les effectifs existants¹⁸ sont fournis par province. Les départements n'en sont pas pourvus, encore moins les villages. Les effectifs pris en compte dans la base de calcul des besoins pastoraux sont obtenus à partir des densités (têtes/km²) provinciales et des superficies planimétrées des centres suivis. L'inconvénient de la méthode est qu'elle traduit une proportionnalité entre les effectifs et les superficies. L'écart n'est cependant pas remarquable avec les chiffres des enquêtes réalisées çà et là par certaines ONG.

IV.3.2- Les besoins spécifiques et totaux du cheptel

La consommation spécifique est l'Unité Bétail Tropical (UBT)¹⁹. Un bœuf de 250 kg, dans une ferme a besoin de l'UBT (soit 40 litres/tête/jour), pour boisson et entretien de la ferme. Si on exclut la ferme (cas de cette étude), les besoins d'eau de boisson sont de 25 litres/tête/jour ou 25 litres/UBT. Les coefficients suivants sont appliqués aux autres éléments du cheptel : 1.2 pour les équins, 0.8 pour les asins, 1 pour 6 à 8 petits ruminants ; la moyenne 7 est ici utilisée. La consommation de la volaille est estimée à 0.2 litres/tête/jour. Les besoins spécifiques des différentes composantes du cheptel sont présentés dans le tableau qui suit :

TABLEAU 8 : Besoins spécifiques et taux de croît du cheptel.

Cheptel	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Asins	Equins	Volaille
Besoins spécifiques (l/t/j)	25	3.5	3.5	3.5	20	30	0.2
Taux de croît (%)	2	3	3	2	2	1	3

Les besoins pastoraux de Pourra, et Kalsaka sont présentés dans le tableau suivant. En 2010 les besoins pastoraux de Pourra seront de 93 m³/j, soit environ 34 000 m³.

¹⁸ Source MARA

¹⁹ Ces données sont obtenues à la DPIA du MARA

TABLEAU 9 Effectifs et besoins pastoraux journaliers de Pourra et Kalsaka

		Bovins	Ovins	caprins	Porcins	Asins	Equins	Volaille
Effectif	1997	860	3943	4721	663	495	18	13707
Besoins	(m ³)	22	14	17	2	10	1	3
Effectif	2000	913	4308	5158	703	526	18	14978
Besoins	(m ³)	23	15	18	2	11	1	3
Effectif	2005	1008	4994	5980	777	580	19	17364
Besoins	(m ³)	25	17	21	3	12	1	3
Effectif	2010	1113	5790	6932	857	641	20	20130
Besoins	(m ³)	28	20	24	3	13	1	4

IV.4- LES BESOINS EN EAU DES PLANTES

IV.4.1- Hypothèses

Les cultures dans la cuvette sont interdites ou devraient l'être pour réduire l'envasement de la retenue.

Les spéculations en irrigation sont le riz comme culture pluviale et le maraîchage en contre saison ; l'oignon est pris comme référence en ce sens que ses besoins en eau sont relativement importants .

Après l'hivernage, la retenue devra satisfaire un appoint pour le riz (octobre, novembre) avant le maraîchage qui débute en décembre.

Les besoins en eau des plantes sont calculés par la méthode du bilan hydrique simplifié qui s'écrit :

$$BN = ETMc - Pe$$

avec :

BN : besoins nets (mm/mois)

ETMc : évapotranspiration de la culture (mm/mois)

Pe : pluie efficace mensuelle (mm)

$$ETMc = Kc * ETPo$$

Avec Kc : coefficient cultural, ETPo : Évapotranspiration Potentielle de Penman (mm/mois)

Le riz est cultivé de juillet à mi-novembre et l'oignon en deuxième campagne, de décembre à avril/mai. Les valeurs de l'ETP sont celles de la base de données du projet *BKF/93/002*, calculées par la formule de Penman. Les coefficients culturaux sont interpolés dans la table de Doorenbos et Pruitt. L'irrigation est gravitaire et on retient les efficacités de 0.8 et de 0.6 pour les canaux et l'irrigation respectivement : soit une efficacité globale de 0.5. On prend la pluie efficace égale à 80% de la pluie si elle est supérieure à 20 mm. Le tableau ci-dessous donne les besoins en eau des deux campagnes.

TABLEAU 10 : Besoins en eau des plantes.

Période	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov. 15j	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril
ETPo (mm)	152.8	143.3	152.4	171.3	87.9	190.3	183.3	188.8	210.5	198.3
Kc	1.12	1.30	1.2	1.00	0.95	0.50	0.80	1.05	0.90	0.75
ETMc (mm)	171.1	186.2	182.9	171.3	83.5	95.2	146.6	198.2	189.5	148.7
P (mm)	153.7	188.2	94.6	18.7	0.8	0.8	0	2	1.5	15.7
Pe (mm)	123.0	150.6	76.0	18.7	0	0	0	0	0	15.7
ETMc - Pe (mm)	48.1	37.6	106.9	152.6	83.5	95.2	146.6	198.2	189.5	133.0
BN (mm)	48	38	107	153	84	95	147	198	189	133
Efficience	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
BB (mm)	96	76.	214	306	105	190	294	396	378	266
BB (m ³ /ha)	960	760	2140	3060	1050	1900	2940	3960	3780	2660
BB (5 ha) (m ³)	4800	3800	10700	15300	5250	9500	14700	19800	18900	13300
BB (10ha) (m ³)	9600	7600	21400	30600	10500	19000	29400	39600	37800	26600

Note :

BB représente les besoins bruts.

Pour une superficie de 10 hectares, les besoins agricoles sont évalués à 232 100 m³/an pour les deux campagnes dont 152 400 m³ pour le maraîchage. Cette dernière valeur dépasse déjà le volume utile (la moitié) du barrage.

Chapitre V

BILAN RESSOURCES-BESOINS

V- BILAN RESSOURCES - BESOINS

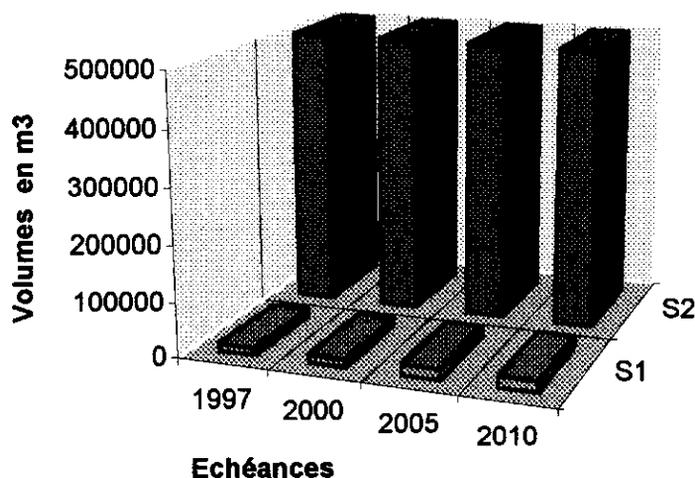
V.1- BILLAN EN AEP

L'exploitation de la carte des ressources en eau souterraine fait état de l'existence des quantités importantes d'eau disponibles dans tous les petits centres (gros villages) étudiés. Comparés aux ressources minimales annuelles (*tableau 5 et tableau 7*), les besoins en eau représentent à peine 10 % à l'échéance 2010 comme l'indique le tableau ci-dessous et ceux en annexe 9.

TABLEAU 11 : Bilan besoins - ressources en AEP de Pourra

	1997	2000	2005	2010
Ressources eau souterraine (m ³)	500 000	500 000	500 000	500 000
Besoins en AEP (m ³)	13332	13759	18126	19103
Besoins / ressources (%)	3	3	4	4

Bilan besoins-ressources en AEP de Pourra



L'un des problèmes cruciaux qui se pose est celui de l'exploitation et de la pérennité des puits traditionnels ; ceux-ci sont moins profonds et captent l'aquifère des altérites dont la forte argilosité diminue la transmissivité, compromettant ainsi la libération des débits. De plus la discontinuité des nappes, surtout captives dans les réseaux de fissures est mise en évidence par le grand nombre de forations qui se sont avérées négatives c'est à dire dont les débits sont restés en deçà de 0.7 m³/h.

En général les débits disponibles des forages positifs relevés dans la base *IWACO* et complétés par le rapport de *Gauff ingénieure* satisfassent les besoins de quatre localités sur sept. Les facteurs qui entravent cette utilisation restent l'entretien de pompes et les longues distances des forages aux habitations.

Le cas de Pourra est cependant exceptionnel : un seul forage pour près de 2000 habitants. Il y existe aussi des puits mais le village connaît un taux de succès très faible dans l'implantation des forages. On peut le dire : Pourra est insuffisamment fourni en points d'eau potable.

Le scénario qui consiste à pourvoir le village en *AEP* par les eaux de surface, ne se justifie pas car non seulement la retenue n'est pas pérenne mais il faudrait construire d'autres infrastructures comme celles d'un véritable traitement des eaux. En revanche il est possible que à la suite des études plus poussées de linéaments et géophysiques, on trouve satisfaction des débits des forages ainsi implantés.

On peut remarquer dans la documentation que Pourra se plaint plus d'ailleurs de son barrage que de ses forages, habitué qu'il l'est de ses puits traditionnels. Si des études dignes de foi, malgré tout ne sont pas concluantes pour des forages positifs ou à la limite de puits modernes, l'ultime solution reste alors les recours aux puits traditionnelles dont les sites seront choisis de préférence en aval de la digue. La qualité de l'eau reste néanmoins à contrôler. Le tableau qui suit présente les besoins en forages positifs à prévoir. Les taux de réussite sont calculés à partir des forages (positifs ou négatifs) des récents recensements, *annexe 6*.

TABLEAU 12 : Prévisions en forages à Pourra, Rambo et Kalsaka

Échéances	Pourra				Rambo				Kalsaka			
	1997	2000	2005	2010	1997	2000	2005	2010	1997	2000	2005	2010
Population	1826	1885	1968	2094	5790	5975	6297	6637	5074	5308	5722	6168
Forages positifs	1	4	5	6	8	12	16	17	5	10	11	15
Forages à construire	3	0	1	1	4	0	4	1	5	1	4	1
Taux de réussite %	20	20	20	20	69	69	69	69	49	49	49	49
Forages à prévoir	15	0	5	5	6	0	6	2	10	2	8	2

En général les débits disponibles des forages positifs relevés dans la base *IWACO* et complétés par le rapport de *Gauff ingénieure* satisfont les besoins de quatre localités sur sept. Les facteurs qui entravent cette utilisation restent l'entretien de pompes et les longues distances des forages aux habitations.

Le cas de Pourra est cependant exceptionnel : un seul forage pour près de 2000 habitants. Il y existe aussi des puits mais le village connaît un taux de succès très faible dans l'implantation des forages. On peut le dire : Pourra est insuffisamment fourni en points d'eau potable.

Le scénario qui consiste à pourvoir le village en *AEP* par les eaux de surface, ne se justifie pas car non seulement la retenue n'est pas pérenne mais il faudrait construire d'autres infrastructures comme celles d'un véritable traitement des eaux. En revanche il est possible que à la suite des études plus poussées de linéaments et géophysiques, on trouve satisfaction des débits des forages ainsi implantés.

On peut remarquer dans la documentation que Pourra se plaint plus d'ailleurs de son barrage que de ses forages, habitué qu'il l'est de ses puits traditionnels. Si des études dignes de foi, malgré tout ne sont pas concluantes pour des forages positifs ou à la limite de puits modernes, l'ultime solution reste alors les recours aux puits traditionnelles dont les sites seront choisis de préférence en aval de la digue. La qualité de l'eau reste néanmoins à contrôler. Le tableau qui suit présente les besoins en forages positifs à prévoir. Les taux de réussite sont calculés à partir des forages (positifs ou négatifs) des récents recensements, *annexe 6*.

TABLEAU 12 : Prévisions en forages à Pourra, Rambo et Kalsaka

Échéances	Pourra				Rambo				Kalsaka			
	1997	2000	2005	2010	1997	2000	2005	2010	1997	2000	2005	2010
Population	1826	1885	1968	2094	5790	5975	6297	6637	5074	5308	5722	6168
Forages positifs	1	4	5	6	8	12	16	17	5	10	11	15
Forages à construire	3	0	1	1	4	0	4	1	5	1	4	1
Taux de réussite %	20	20	20	20	69	69	69	69	49	49	49	49
Forages à prévoir	15	0	5	5	6	0	6	2	10	2	8	2

V.2- BILAN PASTORAL

Actuellement les besoins pastoraux sont plus ou moins satisfaits par le barrage et les puisards en bordure. Comme pour l'AEP, on ne peut miser sur le barrage pour une alimentation en continue des animaux. Par contre si la capacité du celui-ci atteignait 500 000 m³ alors les besoins pastoraux et agricoles en seraient presque garantis comme l'indique la simulation sur la courbe hauteur - volume du barrage.

V.3- BILAN AGRICOLE

Malgré la présence de leur barrage, les populations de Pourra manqueront encore pour longtemps de l'eau pour leurs activités agricoles. En tablant sur une capacité de 300 000 m³, le barrage servira d'irrigation d'appoint de 15 hectares de riz et moins de 5 hectares de cultures maraîchères. Ceci suppose le périmètre aménagé et la culture dans la cuvette interdite.

L'augmentation de la capacité du barrage à 500 000 m³ sera une opération fort coûteuse pour Pourra si ce n'est un don. L'alternative serait de prévoir à cet effet un pompage solaire captant la nappe aquifère alimentée par l'infiltration sous la digue.

Les scénarios d'utilisation des eaux de la retenue que nous présentons ici sont fonction de des superficies à cultiver et des travaux à prévoir.

V.3.1- Scénario 1

Pour un volume de 300 000 m³, la simulation²⁰ sur l'utilisation de la retenue en 1997 montre qu'il est possible d'apporter un appoint suffisant en eau d'irrigation pour 15 ha. Cette option malheureusement ne permet pas de faire du maraîchage même seulement pour 5 ha. Cependant, on peut d'avantage améliorer la riziculture de bas fond en maintenant une lame d'eau par la construction d'un seuil déversant prolongé de diguette, en aval de la plaine. Ceci demande un lever topographique et une étude conséquente. Sinon forcément les paysans maintiendront le maraîchage dans la cuvette de la retenue.

²⁰ annexe 10

TABLEAU 13 : Récapitulatif des besoins (m³) et pertes en l'an 2010 pour le scénario 1.

Type de culture	Riz pluvial 15 ha		Maraîchage 5 ha				
	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Besoins agricoles (15 ha)	45900	15750	9500	14700	19800	18900	13300
Besoins pastoraux	2883	2790	2883	2883	2604	2883	2790
Total besoins	48783	18540	12383	17583	22404	21783	16090
Évaporation (mm)	155	156	152	155	160	183	183

V.3.2- Scénario 2

Les simulations sur la courbe hauteur volume de la retenue pour un volume de 500000 m³ montrent qu'il est possible de pratiquer une irrigation gravitaire sur 15 ha de riz avec du maraîchage en contre saison sur 10 ha tout en satisfaisant les besoins pastoraux comme l'indique le tableau ci dessous.

TABLEAU 14 : Récapitulatif des besoins (m³) et pertes en l'an 2010 du scénario 2.

Période	Riz pluvial 15 ha		Maraîchage 10 ha				
	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Besoins agricoles (15 ha) (m ³)	45900	15750	19500	29400	39600	37800	26600
Besoins pastoraux (m ³)	2883	2790	2883	2883	2604	2883	2790
Total besoin (m ³)	48783	18540	22383	32283	42204	40683	29390
Évaporation(mm)	155	156	152	155	160	183	183

Cette option est la plus souhaitable des populations au regard des revenus substantiels que peut procurer la pratique du maraîchage. De surcroît celui-ci peut être pratiqué sur les 15 hectares disponibles si l'on dispose de 600 000 m³ d'eau dans la retenue en début de saison. Le plan d'eau normal sera alors de 9 m. Ceci est intéressant car pour une augmentation de 50% de la capacité du barrage on connaît parallèlement une petite augmentation de la superficie noyée de 33%, soit une diminution de 10 ha des superficies cultivables. On trouve raisonnable de perdre 10 ha en amont du barrage pour en récupérer 15 dans le bas fond.

CONCLUSION

L'exploitation des cartes des ressources en eau souterraine des provinces du Yatenga, du Passoré et du Bam montre que les villages les plus peuplés des localités étudiées en sont relativement pourvus. Leurs besoins en *AEP* représentent, à l'horizon 2010, à peine 10% de ces ressources. Localement les débits exploités sont par endroits insuffisants même si la productivité de certains forages est considérable (supérieur à 10 m³/h). La difficulté majeure rencontrée dans l'exploitation de ces ressources est l'éloignement des points d'eau par rapport aux habitations ; les corvées d'eau se font parfois sur des distances supérieures à 2 km.

Les besoins agricoles et pastoraux sont à satisfaire par les eaux de la retenue. Malheureusement sa capacité est insuffisante. Le scénario 1 qui consiste à conserver son volume de 300 000 m³, conduit à une superficie exploitable en terres agricoles de 5 ha en contre saison. Le scénario 2 implique une augmentation du volume du barrage et parallèlement un accroissement des terres agricoles de 10 ha. Si cette opération est techniquement réalisable, du point de vue financier les populations de Pourra auront du mal à le faire. Un levé topographique précisera au préalable la capacité réelle du barrage, la superficie des terres inondées dans la cuvette et celle à exploiter dans le bas fond.

RECOMMANDATIONS

1. Le suivi des variations piézométriques saisonnières et pluriannuelles est primordiale dans l'estimation des ressources en eau souterraine. Puisque leur installation s'avère coûteuse, on peut par contre utiliser comme piézomètre les forages déclarés négatifs (débit inférieur à 0.7 m³/h), généralement comblés ou laissés béants. La *DGH* devrait établir des cartes piézométriques et s'atteler à les mettre à jour particulièrement dans cette région du Sahel.
2. La pléiade des organismes de foration devraient être régis par une réglementation dûment établie. Les caractéristiques des forages ne sont pas toujours connues ; en particulier l'altitude mais surtout le débit. Nombreux sont les débits estimés à l'air lift au moment des développements. Les essais de débit doivent faire l'objet d'attention particulière et sont donc à imposer systématiquement dans les cahiers de charges lors des passation des marchés.

3. La discontinuité des nappes en zones de socle rend l'implantation des forages aléatoire. Les études géophysiques sont à approfondir dans le sens de la réduction des distances forage-habitations. En outre même quand ils sont modernes, les risques de pollution organique sont accrus dans les puits. La tendance actuelle devrait être de fournir de plus en plus d'eau de forage, garante de la bonne santé des populations.
4. La préoccupation des habitants de Pourra est l'augmentation de la capacité de leur unique barrage. Ils n'ont jamais cessé de le crier haut et fort dans toutes les occasions qui leur semblaient favorables, en vain! Le village est en proie à une émigration de ses bras valides. Vivement que les autorités ou des personnes de bonne volonté leur viennent au secours dans la réalisation du scénario 2 qui semble exigeant financièrement mais salubre à court comme à très long terme.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bilan d'Eau, **Carte hydrogéologique du Burkina Faso**, Échelle 1/500 000, feuille de Ouagadougou. **Cartes des ressources en eau souterraine du Burkina Faso.**
2. Bilan d'Eau, mai 1991, **Étude du schéma directeur d'approvisionnement en eau potable du Burkina Faso (1990-2005)**, version définitive, Tome I - Rapport National.
3. Bilan d'Eau, mai 1991, **Etude du schéma directeur d'approvisionnement en eau potable du Burkina Faso (1990-2005)**, version définitive, Tome II - Rapports régionaux.
4. BRGM aquater , décembre 1986, **La recharge naturelle des aquifères de socle sous climats soudanien et sahélien.** Étude expérimentale au Burkina Faso. Rapport
5. CIEH - IWACO, 1990, **Étude des ressources en eau souterraine dans le YATENGA**
6. CIEH 1986, **Petits barrages en terre au Burkina Faso**, Bilan et analyse
7. DEP/EAU, **Inventaire national sur la situation de l'approvisionnement en eau potable.** Projet renforcement de la DEP.
8. DRH/Nord, Gauff Ingenieure, Août 1996, **Appui à la mise en place des moyens de gestion, de planification et de programmation des ressources en eau.**
9. EAU VIVE, juin 1996, **Études de cas et propositions d'appui aux projets productifs.** Rapport
10. Eric Moukoro, VNU DRH/Nord, janvier 1996, **Étude de cas, SEGUENEGA et POURRA.** Rapport, version définitive.
11. LOTTI et ASSOCIATI ROMA (Sahel Consult) Ouagadougou, Octobre 1990, **Étude D'aménagements hydroagricoles**, Rapport.
12. ONBAH, **dossier d'avant projet de barrage de Pourra**
13. ORSTOM, octobre 1992, **Évaporation des nappes d'eau libre en Afrique Sahélienne et tropicale.**
14. ORSTOM, 1972, **Série hydrologique, volume IX, n° 3.**
15. Sous Programme Eau et Développement Régional, Projet BKF93/002/volet A, Juillet 1996, **Rehaussement de la retenue et aménagement du périmètre de Pourra.** Dossier d'avant projet.
16. Zagré Zoubi Justin , juin 1996, **Étude socio-organisationnelle du village de Pourra.**

LISTE DES TABLEAUX

<u>TABLEAU 1</u> : Occupations des différents groupements du village	page 4
<u>TABLEAU 2</u> : Données agrométéorologiques de la station de Kongoussi	page 14
<u>TABLEAU 3</u> : Évaporation journalière et mensuelle su la retenue de Pourra	page 15
<u>TABLEAU 4</u> : Caractéristiques hydrogéologiques des localités étudiées	page 19
<u>TABLEAU 5</u> : Ressources en eau souterraine	page 19
<u>TABLEAU 6</u> : Situation des infrastructures en hydraulique villageoise	page 21
<u>TABLEAU 7</u> : Besoins en <i>AEP</i> selon les échéances	page 25
<u>TABLEAU 8</u> : Besoins spécifiques et taux de croît du cheptel	page 26
<u>TABLEAU 9</u> : Effectifs et besoins pastoraux de Pourra et Kalsaka	page 27
<u>TABLEAU 10</u> : Besoins en eau des plantes	page 28
<u>TABLEAU 11</u> : Bilan besoins ressources en <i>AEP</i> de Pourra	page 29
<u>TABLEAU 12</u> : Prévisions en forages à Pourra , Rambo et Kalsaka	page 30
<u>TABLEAU 13</u> : Récapitulatif des besoins et pertes (m ³) en 2010 du scénario 1	page 32
<u>TABLEAU 14</u> : Récapitulatif des besoins et pertes (m ³) en 2010 du scénario 2	page 32

SIGLES

AEP :	Approvisionnement en Eau Potable
CIEH :	Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques
CRPA :	Centre Régional de la Production Agro-pastorale
DADGS :	Département de l'Aide au Développement et aux Services de Gestion
DEP :	Direction des Etudes et planification (Ministère de l'Environnement et de l'Eau)
DGH :	Direction Général de l'Hydraulique
DRH :	Direction Régionale de l'Hydraulique du Nord
DPIA :	Direction de la Production Industrielle et Animale
IND :	Institut National de la Statistique et de la Démographie
IWACO:	Bureau d'études du projet Bilan d'Eau
MARA :	Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales
ODE :	Office de Développement des Églises
ONBAH :	Office National de Barrages et des Aménagements Hydroagricoles (ONBI)
ONG :	Organisation Non gouvernementale

ANNEXES

- Annexe 1** Population aux échéances de l'étude
- Annexe 2** Données climatologiques
- Annexe 3** Courbes hauteur - surface
- Annexe 4** Coupe hydrogéologique caractéristique de Pourra
- Annexe 5** Piézomètre du CIEH à Ouagadougou
- Annexe 6** Caractéristiques des forages
- Annexe 7** Estimation des besoins en eau de la population aux échéances de l'étude
- Annexe 8** Calcul des besoins pastoraux
- Annexe 9** Bilan besoins - ressources
- Annexe 10** Simulations hauteur - volume
- Annexe 11** Plan du barrage de Pourra
- Annexe 12** Localisation des forages de Rambo
- Annexe 13** Étude statistique des pluies de Yako
- Annexe 14** Extrait de la carte topographique au 1/500 000°

ANNEXE 1 : Populations aux échéances du projet

		Projection de la démographie selon les échéances									
Province et taux d'accroissement 1985	département	Nature	Population 1985	Population 1996	Taux d'accroissement 85-96(%)	Taux d'accroissement retenu pour l'extrapolation	1997	2000	2005	2010	
Bam	Guibaré	Village	1562			3,38%	2328	2572	3038	3587	
		Département	12904	18604	3,38%	3,38%	19233	21251	25096	29636	
	1,2 Tikaré	Commune	3550	5299	3,71%	3,71%	5496	6130	7354	8823	
		Département	34559	34822	0,07%	0,07%	34846	34918	35039	35160	
	Passoré	Bokin	Village	4351			2,66%	5963	6451	7357	8389
			Département	34488	46038	2,66%	2,66%	47263	51137	58312	66493
		Village	3449			2,71%	4755	5152	5889	6732	
	0,8 Kirsi	Département	Village	10691	14349	2,71%	2,71%	14738	15970	18255	20868
			Département	4237			1,51%	5074	5308	5722	6168
	Yatenga	Kalsaka	Département	36683	43274	1,51%	1,51%	43929	45954	49538	53402
Pourra			1610			1,06%	1826	1885	1986	2094	
Rambo		Département	5104			1,06%	5790	5975	6297	6637	
0,8	Rambo	Département	24770	27804	1,06%	1,06%	28098	28997	30561	32209	

ANNEXE 2: Données climatiques

Année	Pluie annuelle (mm)	Température moyenne (°C)	Température Maximale (°C)	Température Minimale (°C)
1961	800,5	30,3	38,2	20,9
1962	815,8	32,5	41,4	21,5
1963	651,4	35,1	40,4	21,5
1964	788,6	35,0	40,5	21,6
1965	658,3	33,6	41,4	21,1
1966	648,4	33,0	39,0	21,3
1967	586,7	31,7	39,4	21,7
1968	892,4	34,7	40,4	21,8
1969	588,4	34,4	41,1	22,2
1970	463,5	34,3	40,2	21,9
1971	655,1	33,0	40,6	22,0
1972	592,9	34,8	39,6	22,5
1973	640,6	32,4	40,2	22,9
1974	657,6	31,2	40,8	22,2
1975	629,9	31,3	38,0	21,6
1976	681,1	33,7	39,0	21,7
1977	725,3	32,7	38,0	21,2
1978	801,6	34,6	41,0	22,2
1979	793,1	33,5	39,0	21,6
1980	694,7	34,4	41,0	21,7
1981	606,3	32,6	42,2	22,2
1982	570,1	31,3	38,4	22,5
1983	626,3	30,9	41,5	23,2
1984	504,6	33,2	41,5	23,6
1985	574,5	31,0	37,5	23,7
1986	525	31,8	39,5	23,2
1987	427	32,9	39,8	24,0
1988	664	33,4	41,5	23,5
1989	592,5	30,3	39,7	22,8
1990	442	31,7	39,8	23,7
1991	793,3	32,9	40,0	23,5
1992	695,3	32,9	39,7	22,9
1993	492,3	33,0	39,4	22,3
1994	1090,6	33,0	39,1	21,7
Total (mm)	22370,7			
Nbre Anné	34			
Moyenne interannuelle	658,0	32,8	40,0	22,3

ETP à partir de la Formule de Penman: Station de Ouahigouye

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	septembr	Octobre	ovembr	écembr
1981					195	194	169	164	155	170		
1982					196	189	186	165	168	165		
1983					222	175	171	163	164	175		
1984					214	191	188	172	159	163		
1985					213	192	155	149	150	144		
1986				195	196	182	145	147	137	150		
1987				194	217	176	179	180	150	160		
1988				212	238	206	173	149	149	172		
1989				234	242	216	175	139	153	155		
1990				213	258	208	141	175	203	234		
1991				182	162	126	124	116	151	173		
1992	175	202	201	167	164	134	115	113	135	188	162	187
1993	195	185	215	203	183	148	120	122	145	175	168	180
1994	179	187	209	197	167	146	114	105	123	160	173	186
1995	184	181	217	186	183	147	137	110	144	186	200	208
Total	733	755	842	1983	3050	2630	2292	2149	2286	2570	703	761
Nombre Anné	4	4	4	10	15	15	15	15	15	15	4	4
Moyenne (m)	183,3	188,8	210,5	198,3	203,3	175,3	152,8	143,3	152,4	171,3	175,8	190,3
Maximale (m)	195	202	217	234	258	216	179	175	203	234	200	208
Minimale (m)	175	181	201	167	162	126	114	105	123	155	162	180

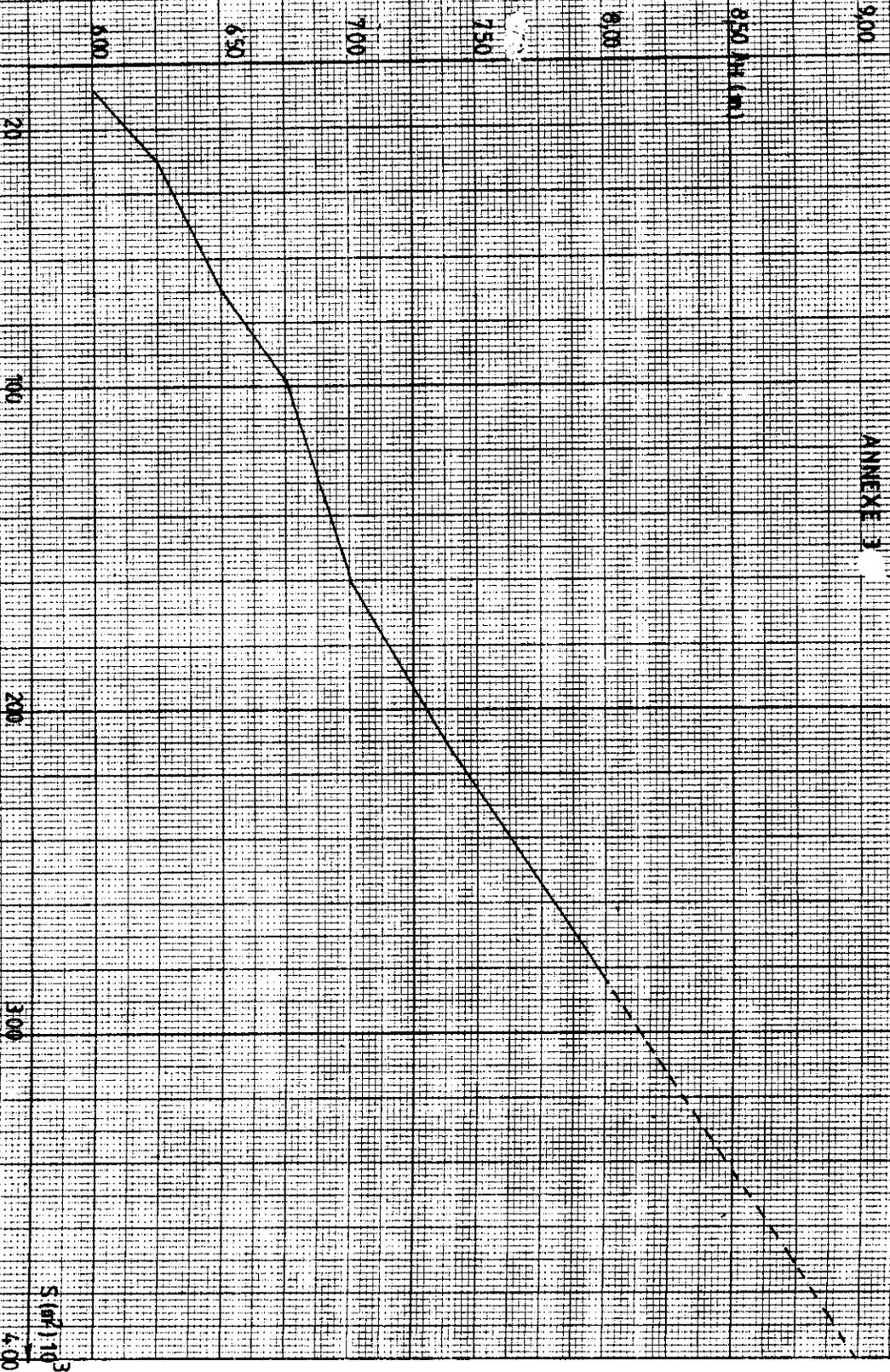
Pluie moyenne mensuelle de 1961 à 1995 (mm) - Séguénéga

Hauteurs de pluies utilisées dans le calcul des besoins en eau: Station de Séguénéga

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	septembr	Octobre	ovembr	écembr	Annuel
Hauteur de pluie (mm)	0,0	0,2	1,5	15,7	37,7	89,9	153,7	188,2	94,6	18,7	0,8	0,8	601,9

ANNEXE 3

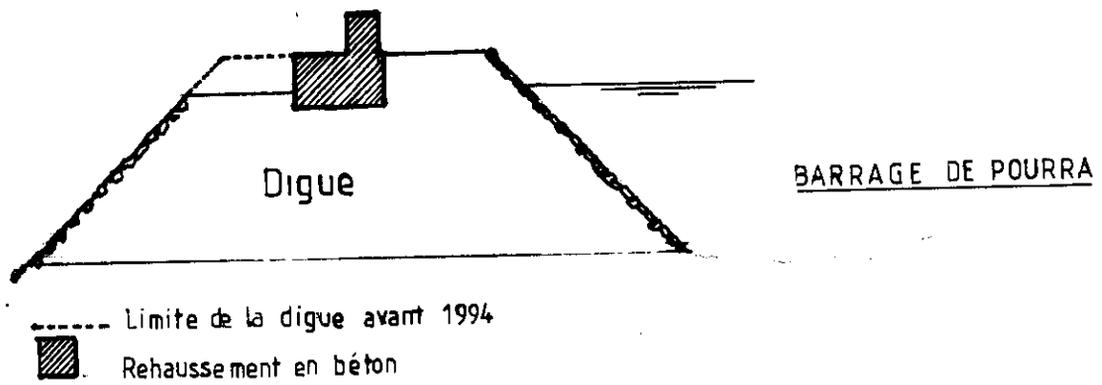
N (m)	S (m)	V (m)	V _{com} (m)
6,60	8,213	2050	2053
6,65	30596	4851	6904
6,80	71271	12133	18637
6,75	96130	20175	40812
7,00	15775	32238	73050
7,40	214958	74,947	167997
8,00	284,200	149743	297,144



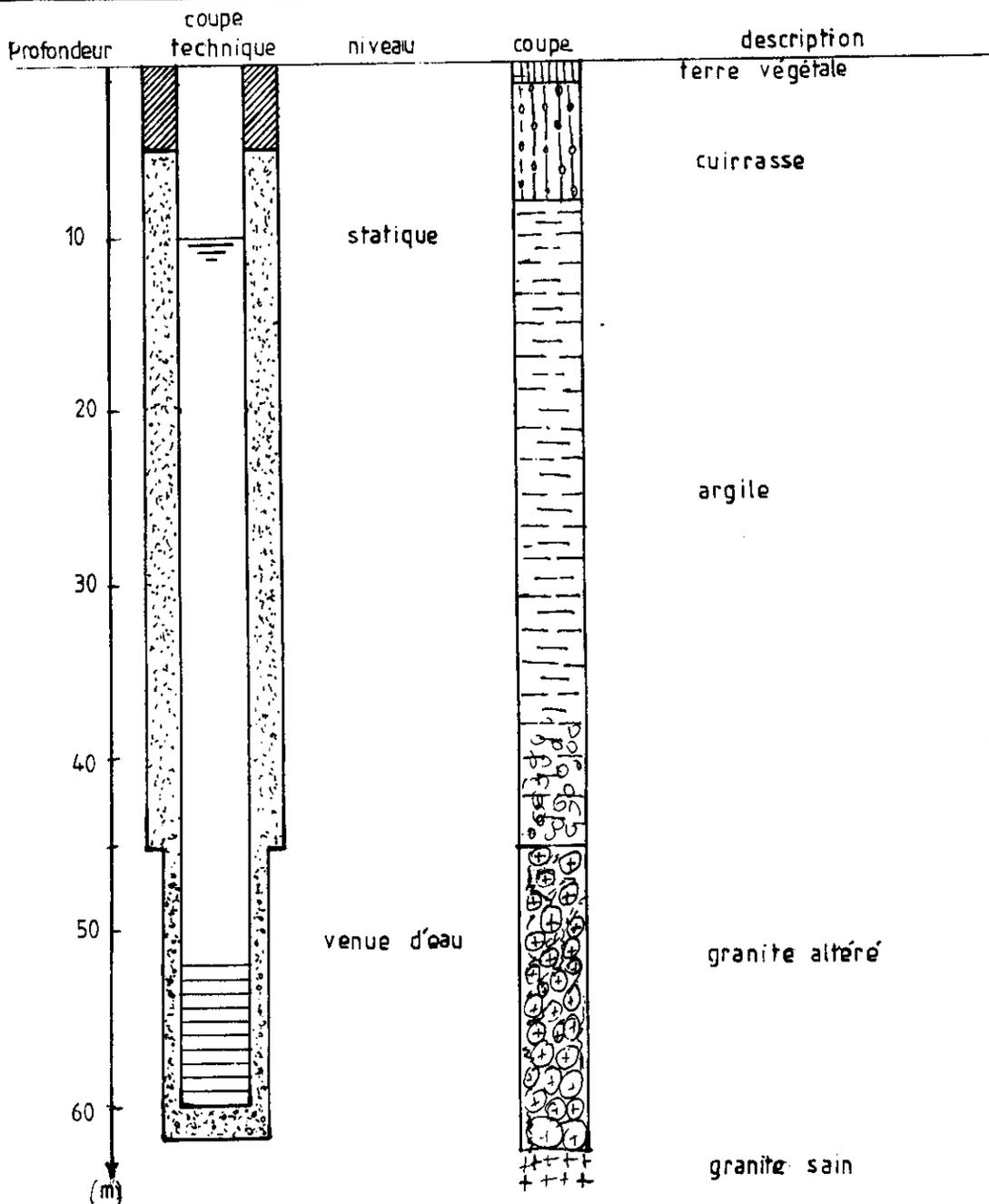
COURBE HAUTEUR

5 (07) 103
4,00

Annexe 4

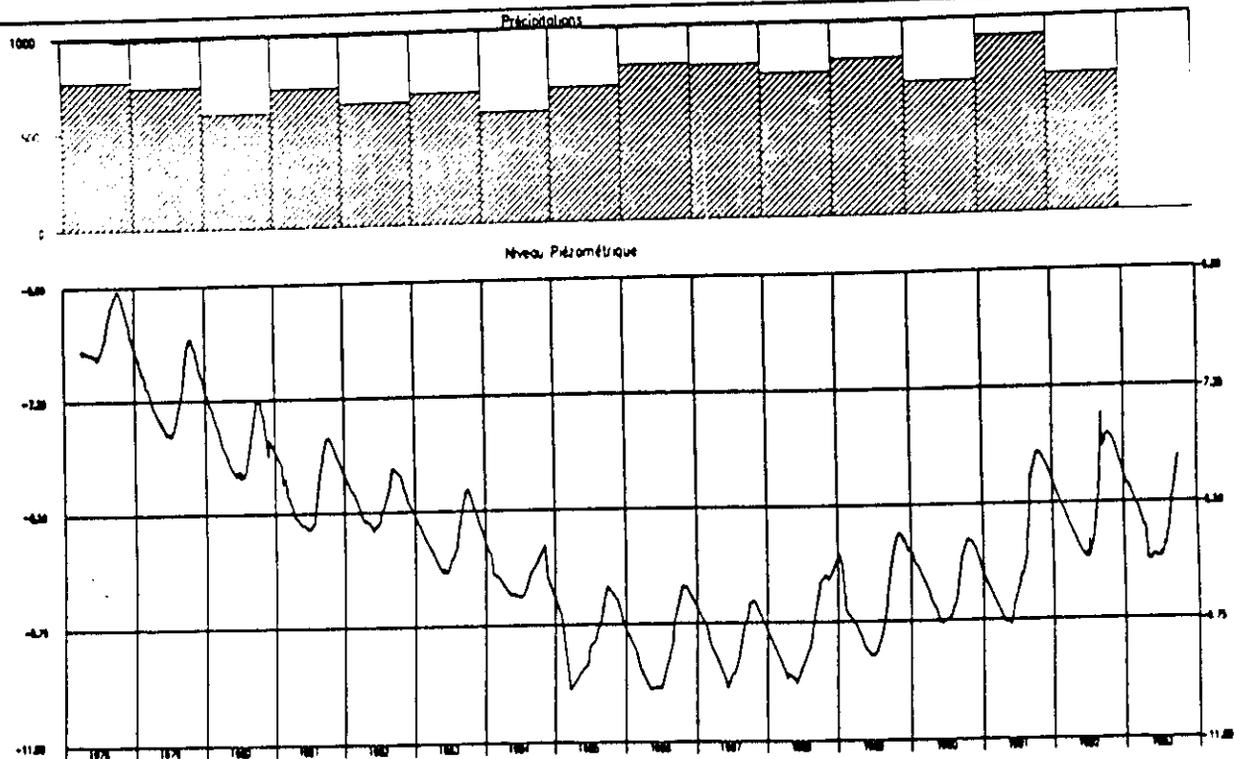


— COUPE TRANSVERSALE DE LA DIGUE — Echelle 1/100 —



COUPE HYDROGEOLOGIQUE CARACTERISTIQUE DE FORAGE

ANNEXE 5



OC/10/01-248 (Oudepolder) Cremona -1- -1 Géol. PC.

Observations piézométriques

D.I.R.H. - MWACO (Fin. Pays Bas)

Banque de données BENACO

BILAN D'EAU

Min. de l'eau

29/09/1993

Annexe 7: Estimation des besoins en Eau de la population aux échéances de l'étude

Besoins annuels jusqu'en 2000:

20 l/habitant/jour:

7,3 m³/an

Besoins annuels à partir de 2005:

25 l/habitant/jour:

9,125 m³/an

Projection des besoins selon les échéances (m³)

Province	Department	Localité	1997	2000	2005	2010
BAM	Guibaré	Village	16995	18779	27720	32735
		Département	140402	155133	228999	270429
		Commune	40117	44748	67106	80508
	Tikaré	Département	254376	254902	319728	320832
PASSORE	Bokin	Village	43528	47095	67129	76548
		Département	345020	373299	532095	606752
		Village	34709	37609	53740	61431
	Kirsi	Département	107588	116578	166579	190420
		Village	37040	38747	52212	56284
YATENGA	Kalsaka	Département	320681	335463	452037	487297
			Pourra	13332	13759	18126
	Rambo	Rambo Village	42265	43618	57462	60561
		Département	205112	211679	278867	293905

Annexe 8: Calcul des Besoins pastoraux

Province du Yalenga - superficie 4078 km²

Taux de croit (%)	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Asins	Equins	Volaille
Besoins spécifiques (l/tête/jour)	25,0	3,5	3,5	3,5	20,0	30,0	0,2
Effectif 1996	34400	156100	186900	26500	19800	721	542700
Densité 1997 (tête/km ²)	8,60	39,43	47,21	6,63	4,95	0,18	137,07
Densité 2000 (tête/km ²)	9,13	43,08	51,58	7,03	5,26	0,18	149,78
Densité 2005 (tête/km ²)	10,08	49,94	59,80	7,77	5,80	0,19	173,64
Densité 2010 (tête/km ²)	11,13	57,90	69,32	8,57	6,41	0,20	201,30

Département de Rambo - superficie 268 km²

	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Asins	Equins	Volaille
Effectif 1997	2306	10566	12651	1776	1327	48	36735
Besoins (m3/l)	58,00	37,00	44,00	6,00	27,00	1,00	7,00
Effectif 2000	2447	11546	13824	1885	1408	49	40142
Besoins (m3/l)	61,00	40,00	48,00	7,00	28,00	1,00	8,00
Effectif 2005	2702	13385	16026	2082	1555	51	46535
Besoins (m3/l)	11,13	57,90	69,32	8,57	6,41	0,20	201,30
Effectif 2010	2983	15517	18578	2897	1718	54	53948
Besoins (m3/l)	75,00	54,00	65,00	8,00	34,00	2,00	11,00

Annexe 9: Bilan Besoins - Ressources

ANNEXE 9

BILAN RESSOURCES -BESOINS (AEP)

Guibaré	1997	2000	2005	2010
ressources(m3)	16995	18779	27720	32735
besoins (m3)	580000	580000	580000	580000
ress / besoins	3%	3%	5%	6%

Tikaré	1997	2000	2005	2010
ressources(m3)	40117	44748	67106	80508
besoins (m3)	925000	925000	925000	925000
ress / besoins	4%	5%	7%	9%

Bokin	1997	2000	2005	2010
ressources(m3)	43528	47095	67129	76548
besoins (m3)	2340000	2340000	2340000	2340000
ress / besoins	2%	2%	3%	3%

Kirsi	1997	2000	2005	2010
ressources(m3)	34709	37609	53740	61431
besoins (m3)	1100000	1100000	1100000	1100000
ress / besoins	3%	3%	5%	6%

Kalsaka	1997	2000	2005	2010
ressources(m3)	37040	38747	52212	56284
besoins (m3)	500000	500000	500000	500000
ress / besoins	7%	8%	10%	11%

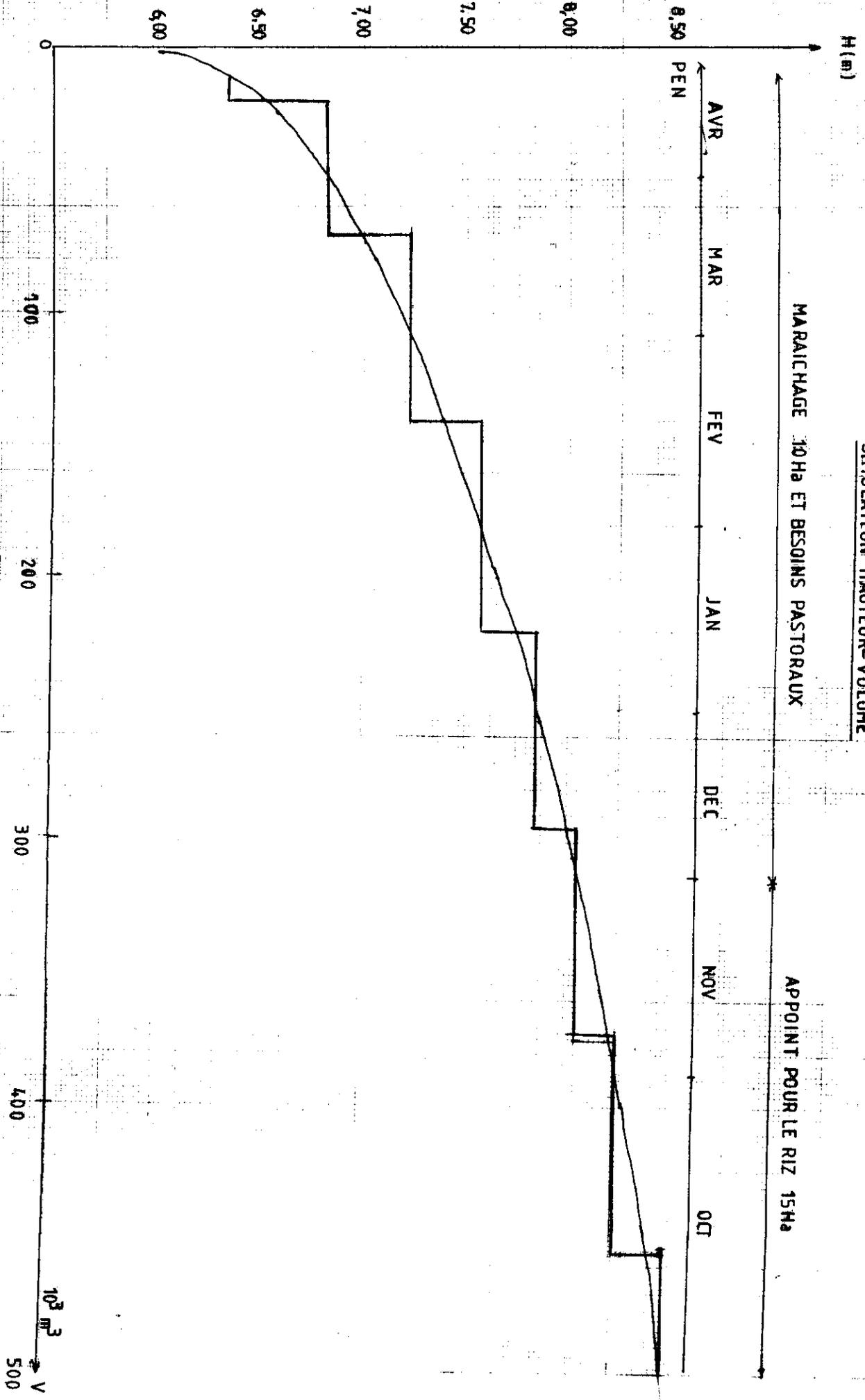
Rambo	1997	2000	2005	2010
ressources(m3)	42265	43618	57462	60561
besoins (m3)	1340000	1340000	1340000	1340000
ress / besoins	3%	3%	4%	5%

ANNEXE 10.2

SIMULATION HAUTEUR-VOLUME

MARAICHAGE 10 Ha ET BESOINS PASTORAUX

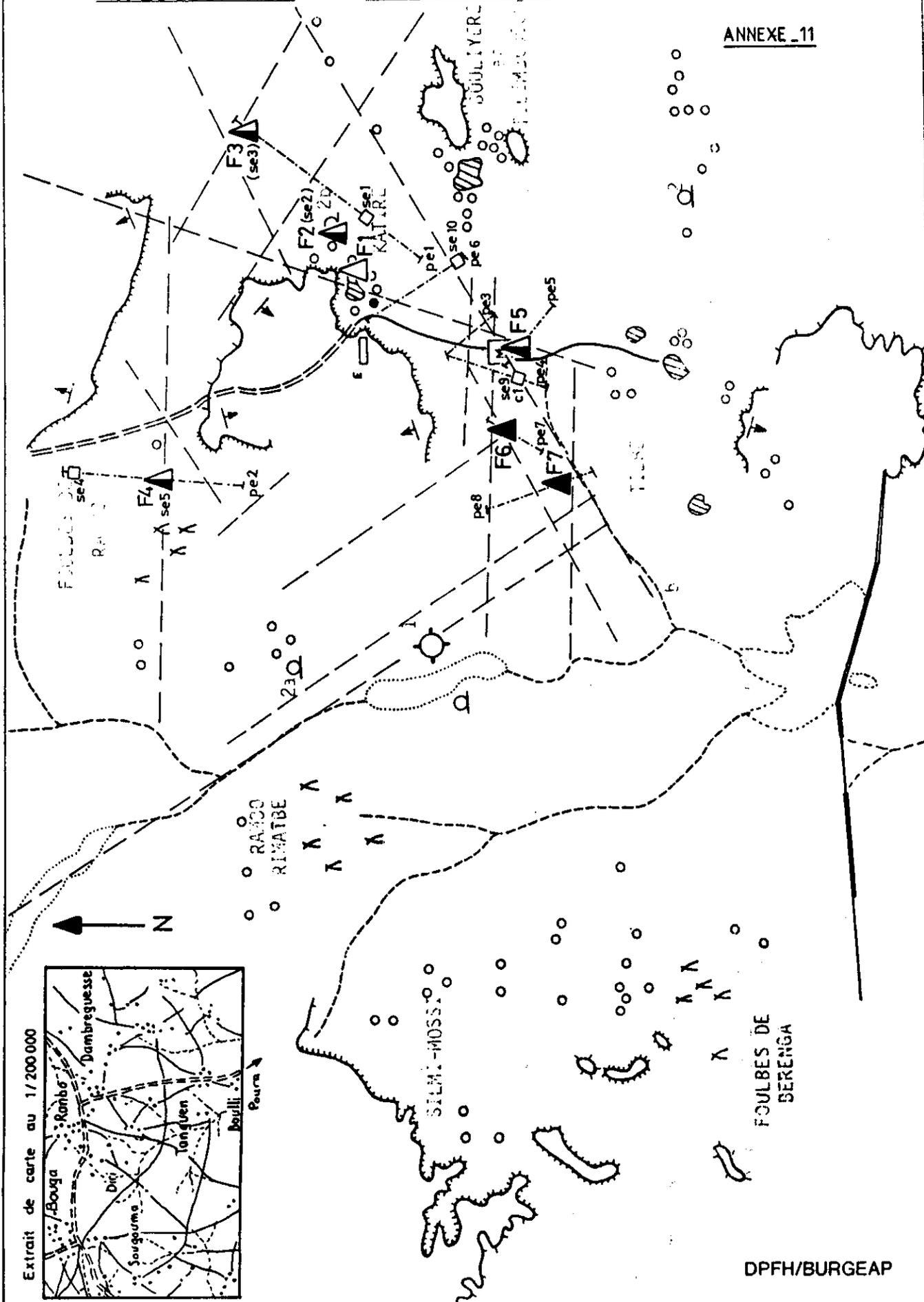
APPOINT POUR LE RIZ 15 Ha



Echelle : 1/20 000

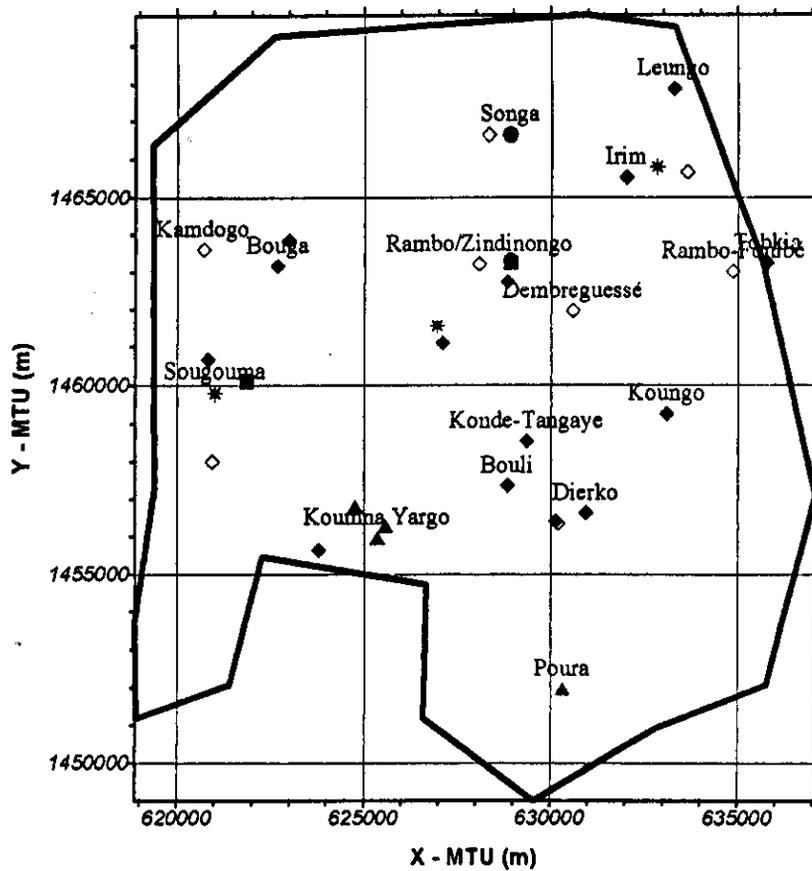
Photo : ND 30 XI n° 446

ANNEXE 11



Province du YATENGA

Département de RAMBO



Echelle : 1/200.000

Limite de département d'après:
BEWACO/AGIS/ADMINIST.AGF

Type de pompe	Fonctionnelle	En panne
Vergnet	◆	◇
ABI	▲	△
UPM	■	□
India	●	○
Volanta	★	☆
Autres pompes	*	*

LOCALISATION DES POMPES

Etude statistique des pluies de Yako

Années	pluie (mm)	Rang	classées	F(X)
1961	800,5	1	427	0,0147
1962	813,8	2	442	0,0441
1963	651,4	3	463,5	0,0735
1964	788,6	4	492,3	0,1029
1965	659,3	5	504,6	0,1324
1966	648,4	6	525	0,1618
1967	586,7	7	570,1	0,1912
1968	892,4	8	574,5	0,2206
1969	588,4	9	586,7	0,25
1970	463,5	10	588,4	0,2794
1971	655,1	11	592,5	0,3088
1972	592,9	12	592,9	0,3382
1973	640,6	13	606,3	0,3676
1974	657,6	14	626,3	0,3971
1975	629,9	15	629,9	0,4265
1976	681,1	16	640,6	0,4559
1977	725,3	17	648,4	0,4853
1978	801,6	18	651,4	0,5147
1979	793,1	19	655,1	0,5441
1980	694,7	20	657,6	0,5735
1981	606,3	21	659,3	0,6029
1982	570,1	22	664	0,6324
1983	626,3	23	681,1	0,6618
1984	504,6	24	694,7	0,6912
1985	574,5	25	695,3	0,7206
1986	525	26	725,3	0,75
1987	427	27	788,6	0,7794
1988	664	28	793,1	0,8088
1989	592,5	29	793,3	0,8382
1990	442	30	800,5	0,8676
1991	793,3	31	801,6	0,8971
1992	695,3	32	815,8	0,9265
1993	492,3	33	892,4	0,9559
1994	1090,6	34	1091	0,9853

ANNEXE 13.1

Moyenne mm	658
Ecart type	134,38
Intervalle de confiance	
%	80
K =	1,28

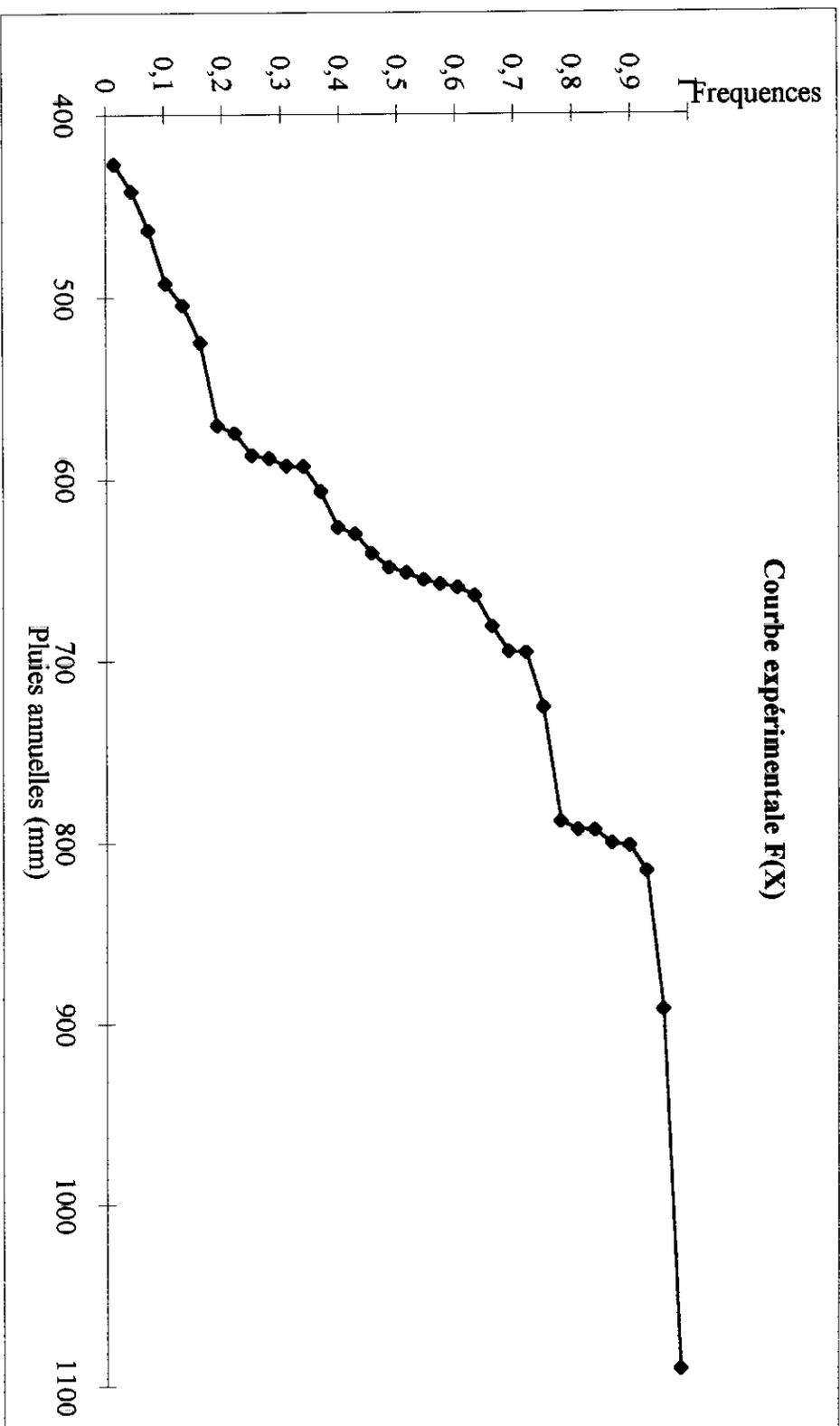
Calculs pour l'ajustement de Gauss

Fi	Ui	X = xi+		X min	X max
0,02	-2,1	382,521	2,92	86,1	296,384
0,05	-1,6	437,6168			437,617
0,1	-1,3	485,9936	1,76	51,9	434,076
0,2	-0,8	545,1208	1,43	42,2	502,937
0,5	0	658	1,25	36,9	621,126
0,8	0,84	770,8792	1,43	42,2	728,696
0,9	1,28	830,0064	1,76	51,9	778,088
0,95	1,64	878,3832			878,383
0,98	2,05	933,479	2,92	86,1	847,342
					1019,6

HISTOGRAMME

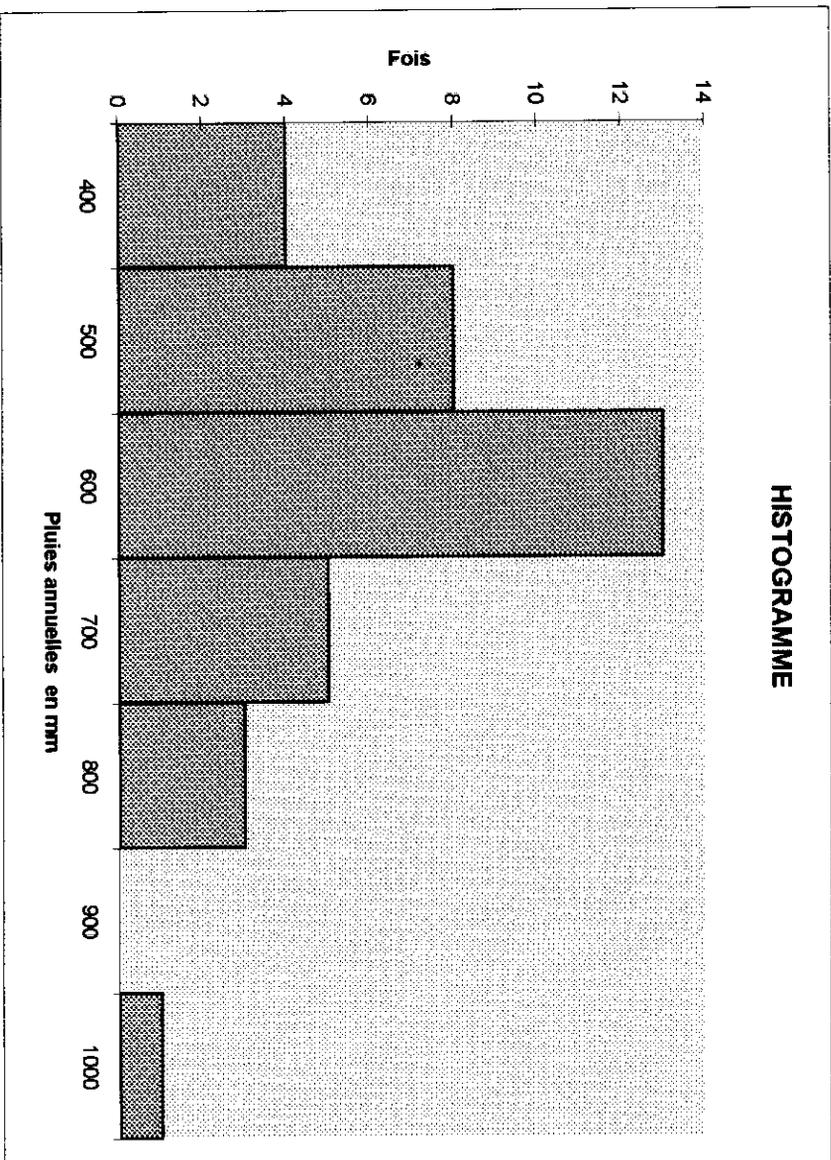
Intervalle	valeur
401 à 500	4
501 à 600	8
601 à 700	13
701 à 800	5
801 à 900	3
901 à 1000	0
1001 à 1100	1

ANNEXE 13.2



ANNEXE 13.3

HISTOGRAMME



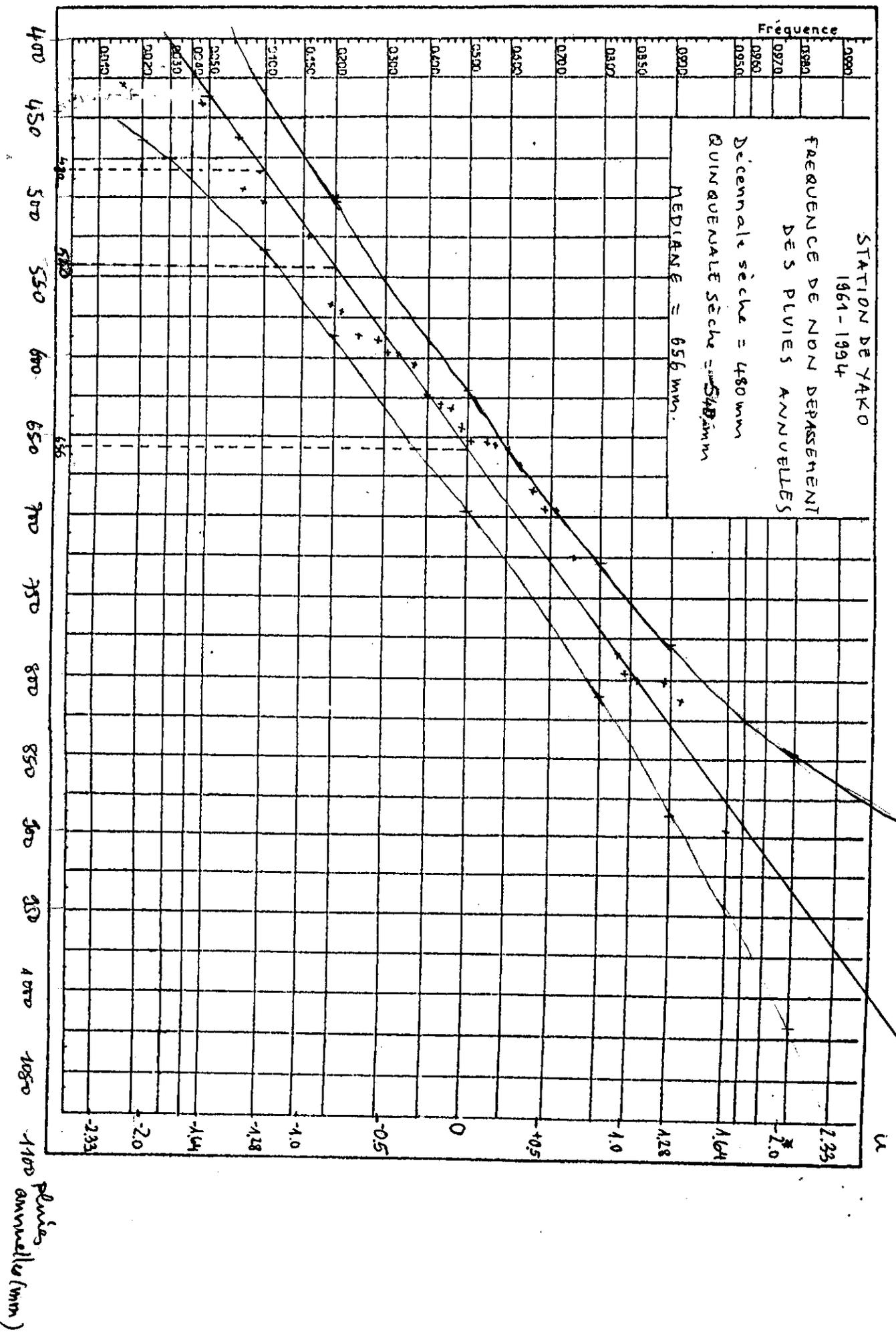
Histogramme

Intervalle	nb de fois
400	4
500	8
600	13
700	5
800	3
900	0
1000	1

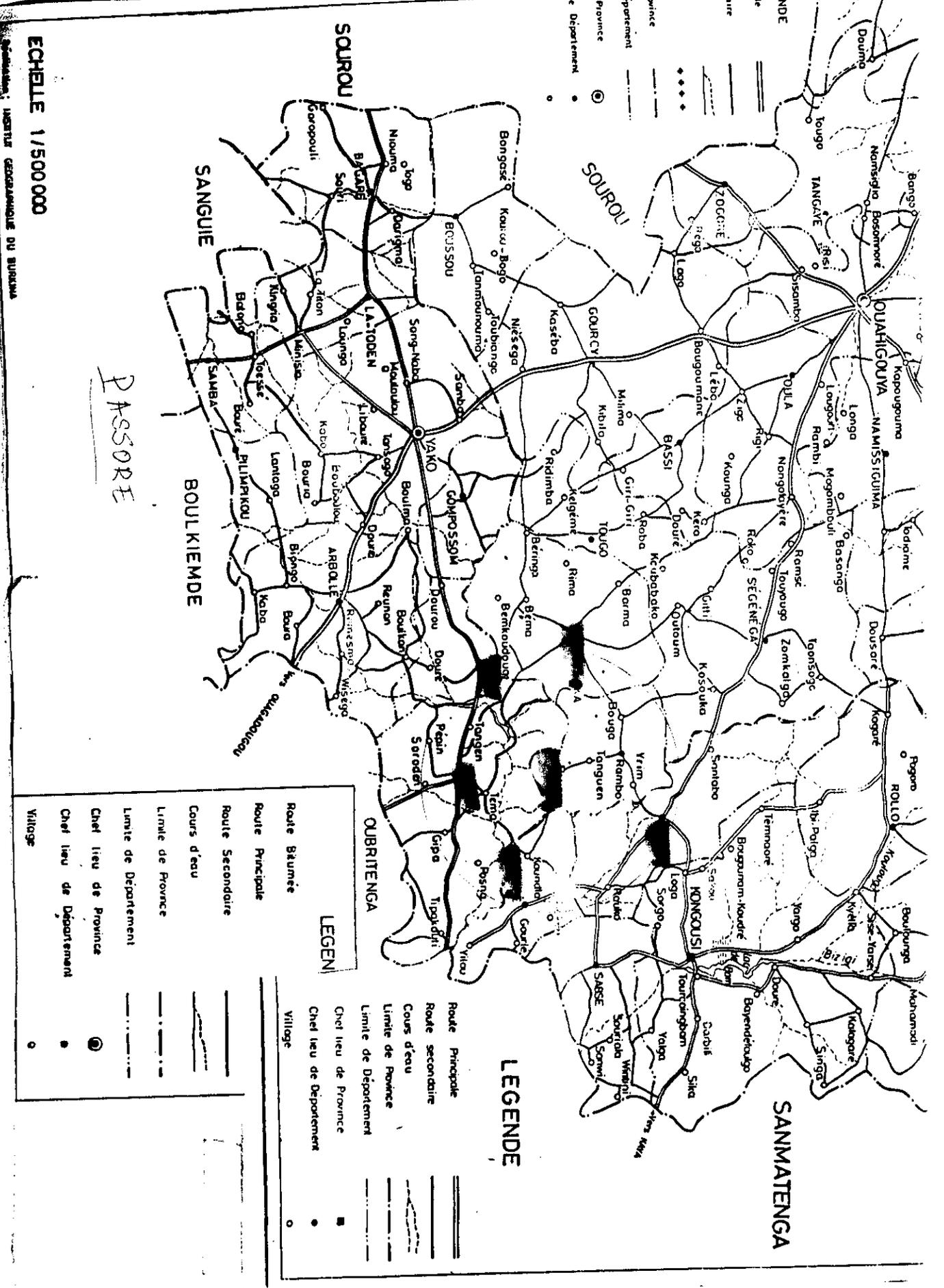
Mode : 600

Gouss

ANNEXE 13.4



Pluies annuelles (mm)



ECHELLE 1/500 000

LESETTE GEOGRAPHIQUE DU BURKINA

PASSORÉ

LEGEN

- Route Bitumée
- Route Principale
- Route Secondaire
- Cours d'eau
- Limite de Province
- Limite de Département
- Chef lieu de Province
- Chef lieu de Département
- Village

LEGENDE

- Route Principale
- Route secondaire
- Cours d'eau
- Limite de Province
- Limite de Département
- Chef lieu de Province
- Chef lieu de Département
- Village