
**MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DE L'HYDRAULIQUE**

**Gestion Intégrée des Ressources en Eau
du Burkina Faso**

**Connaissance des ressources en
eau sur le plan quantitatif**

Pertinence du système de suivi

Version définitive

Rapport technique n° RT-OTEG-R 1.1
Octobre 2000

**ROYAUME DU DANEMARK
MINISTERE DES AFFAIRES ETRANGERES
DANIDA**

Assistance Technique Carl Bro – DHI/VKI - IWACO

S O M M A I R E

1	RESUME.....	3
2	INTRODUCTION	11
2.1	Objectif	11
2.2	Approche	14
2.3	Données de base	16
	Les bassins versants.....	18
2.4	Quelques définitions.....	18
3	L'EAU DE SURFACE	20
3.1	La collecte des données existantes.....	20
3.1.1	Travaux réalisés	20
3.1.2	Conclusion sur la collecte de données.....	22
3.2	Evaluation de la situation des données.....	23
3.2.1	Etat actuel du suivi de la ressource	23
3.2.2	Validation des données hydrométriques.....	25
3.3	Bilan des ressources en eau de surface	28
3.3.1	Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin du Nakanbé ss.....	28
3.3.2	Evaluation des quantités des eaux de surface du Nakanbé sl.....	33
3.3.3	Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin de la Comoé.....	37
3.3.4	Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin du Mouhoun	41
3.3.5	Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin du Niger	44
3.4	La modélisation des ressources en eau de surface.....	47
3.5	Conclusion sur l'évaluation des quantités en eau de surface.....	49
4	L'EAU SOUTERRAINE	52
4.1	La collecte des données existantes.....	52
4.1.1	Les sources de données au niveau national.....	52
4.1.2	Les sources de données spécifiques au bassin du Nakanbé.....	53
4.1.3	Organisation de la collecte.....	54
4.1.4	Description des données collectées	54
4.2	Evaluation de la situation des données.....	55
4.2.1	Le réseau piézométrique.....	55
4.2.2	Données des fiches historiques de l'ONEA.....	56
4.2.3	Fiabilité des données stockées	56
4.2.4	Représentativité des données stockées	56
4.2.5	Les système de suivi.....	57
4.2.6	Analyse critique du réseau piézométrique.....	58
4.2.7	Analyse critique de la gestion des données	58

4.3	Bilan des ressources en eau souterraine.....	59
4.3.1	Historique de l'estimation des ressources renouvelables	59
4.3.2	Estimation des ressources en eau par le Programme GIRE	62
4.4	Renouvellement de la ressource	65
4.4.1	Estimation de la recharge des aquifères.....	65
4.4.2	Mécanismes de décharge des nappes	66
4.4.3	Changement des caractéristiques hydrogéologiques dans le temps	67
4.4.4	Exploitation des données piézométriques de l'ONEA pour la recharge.....	67
4.4.5	Bilan des réserves renouvelables à partir des données climatiques.....	68
4.5	Tableau synthétique des ressources en eau souterraine	69
4.6	Conclusion sur l'évaluation des ressources en eau sous souterraine	70
5	TABLEAU COMPARATIF DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE ET SOUTERRAINE	71
6	RECOMMANDATIONS SUR LE SUIVI ET EVALUATION FUTURE DES RESSOURCES EN EAU	79
6.1	Pour les eaux de surface	79
6.2	Pour les eaux souterraines	79
7	BIBLIOGRAPHIE	81
8	CARTES ET ANNEXES	85

1 RESUME

Le projet Bilan d'eau a évalué les réserves totales en eau du Burkina à 113 milliards de m³. C'est encore le chiffre qui est cité dans le document "Politique et stratégie en matière d'eau (1998).

Les estimations issues de ce rapport font état d'environ 460 milliards de m³. Il s'agit donc d'une révision majeure de l'évaluation des ressources en eau du pays.

La différence entre ces deux estimations peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- La période d'étude du Bilan d'eau (1982 -1992) correspondait à une décennie fort sèche, ce qui a influencé son évaluation, surtout pour l'eau de surface et l'eau renouvelable ;
- Après le projet bilan d'eau de nombreux projets ont été exécutés à travers tout le pays. Ils ont permis d'améliorer sensiblement les connaissances sur la géologie et l'hydrogéologie, en particulier dans la partie sédimentaire du pays.

Les ressources en eau du Nakanbé

Le bassin versant du Nakanbé sl.¹ qui couvre 30 % du territoire renferme environ 30 % des ressources renouvelables du pays. De plus, ces ressources, à l'image de la pluviométrie, ne sont pas uniformément réparties sur le bassin. Ainsi, les ressources en eau sont plus abondantes dans la partie sud ce qui est confirmé par la piézométrie, par la profondeur des forages moindre et par l'infiltration plus importante.

Les sources de données

Les sources de données sur les ressources en eau de surface et souterraines du Burkina Faso sont diverses.

Les principales sources de données recensées et utilisées sont la cellule informatique de la Direction Générale de l'Hydraulique (DGH), la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH), l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) et la Direction de la Météorologie Nationale du Burkina Faso. Ces organismes ont différents modes d'acquisition des données de base qui sont gérées avec des logiciels différents.

Les données collectées

Les données nécessaires pour la connaissance des ressources en eau sont des informations à la fois spatiales (localisation de la ressource) et temporelle (fluctuation de la ressource). Ainsi, les données collectées se composent des listes et des caractéristiques des sites inclus dans les réseaux de suivi hydrologique et piézométrique, et des ouvrages de mobilisation des ressources avec leurs paramètres quand ils sont mesurés (niveau d'eau, débit, etc.).

¹ Nakanbé sl. : Nakanbé au sens large, le bassin versant complet du Nakanbé dans sa partie burkinabé. Le Nakanbé ss. (au sens strict) est une partie du bassin choisie pour la mise en œuvre du Projet Pilote Nakanbé du Programme GIRE. Voir la carte en annexe.

Les paramètres mesurés collectés sont les débits moyens mensuels des stations hydrométriques en rivières, les volumes moyens mensuels des barrages et des retenues d'eau, les niveaux d'eau journaliers des piézomètres et les pluies mensuelles au niveau des pluviomètres.

Les données collectées pour l'ensemble des quatre bassins hydrographiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Bassin versant national	Nombre de stations avec débits moyens mensuels	Nombre de barrages avec volumes mensuels	Nombre de piézomètres du réseau primaire avec données instantanées
Comoé	8	4	5
Nakanbé sl.	19	27	24
Mouhoun	20	1	18
Niger	9	9	19
Total	56	41	66

En ce qui concerne la pluviométrie, pour l'ensemble du Burkina Faso, les données suivantes ont été collectées :

- Les pluies mensuelles et annuelles de 145 postes, de la date de création des postes à 1992 (BEWACO) ;
- Les pluies mensuelles et annuelles de 1961 à 1999 pour les postes pluviométriques de la Direction de la Météorologie Nationale.

De façon plus spécifique pour le Nakanbé ss., les données existantes concernent :

- Les débits moyens mensuels et les modules de 9 stations hydrométriques sur rivières ;
- Les volumes moyens mensuels et annuels de 26 barrages ;
- Les niveaux piézométriques instantanés de 8 sites du réseau piézométrique primaire ;
- Les niveaux piézométriques instantanés de 8 sites du réseau piézométrique secondaire ;
- Les pluies mensuelles de 62 postes climatologiques du réseau de la météo de 1960 à 1998.
- Les pluies journalières de 70 postes du bassin du Nakanbé dont 20 créés par le projet EDR (1995 - 1996) et 50 du réseau pluviométrique de la Direction de la Météorologie Nationale (de 1961 à 1995).
- Les caractéristiques des 602 retenues d'eau de surface existantes du bassin versant.

Les principales difficultés rencontrées au cours de la collecte de données ont été :

- l'absence d'une banque nationale régulièrement mise à jour pour les différents types de données, surtout au niveau de la DIRH ;
- la gestion des données par des logiciels différents et avec des formats différents.

Le diagnostic des méthodes de suivi / évaluation

Du diagnostic des réseaux hydrométriques et piézométriques du Burkina Faso d'une manière générale et du bassin versant hydrologique du Nakanbé ss. en particulier, on peut tirer plusieurs enseignements :

1. Sur l'ensemble du Burkina Faso, la densité des stations hydrométriques (3,7 stations pour 10.000 km²) est satisfaisante selon les normes de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Cependant, lorsqu'on descend au niveau des bassins versants nationaux, cette densité devient théoriquement insuffisante (2,4 stations pour 10.000 km² sur le bassin du Mouhoun, 2,7 stations pour 10.000 km² sur le bassin versant du Nakanbé sl. et 1,7 stations pour 10 000 km² sur le bassin versant du Niger). D'une manière générale, sur chaque bassin national, les stations sont concentrées sur une petite zone par rapport à l'ensemble de la superficie du bassin. Ce constat s'explique par le fait que de nombreuses régions sont encore d'accès difficile en saison pluvieuse et par l'évolution du réseau hydrométrique qui suit celle de la construction des grands barrages. La mise en bon état et l'exploitation régulière du réseau hydrométrique doivent permettre de mieux évaluer les quantités des ressources en eau de surface du Burkina Faso. Le nombre de stations devra cependant être augmenté par la créations de nouvelles stations aux nouveaux grands barrages notamment ceux de Yako et de Ziga. Tous les grands barrages doivent être équipés de sites de mesures à l'amont, au niveau de la retenue et à l'aval de la retenue pour évaluer avec plus de précision leur impact sur les ressources en eau de surface.
2. En ce qui concerne le cas particulier du bassin versant du Nakanbé ss., son réseau hydrométrique est assez représentatif pour l'évaluation des quantités des eaux de surface mais doit être complété sans délai par l'ouverture d'une station hydrométrique sur le barrage de Yako, l'ouverture et le tarage d'une nouvelle station sur le Nakanbé en aval de Bagré, si possible tout juste avant la frontière du Ghana.
3. Selon le rapport final du projet "Soutien à l'optimisation du réseau national" (PSORN) publié en mai 1999, les sites actuels du réseau piézométrique se situent sur les principaux aquifères du pays. Ce réseau piézométrique primaire compte 25 sites avec un total de 66 piézomètres. Cependant, certains piézomètres sont actuellement détériorés. Des difficultés sont actuellement rencontrées dans la régularité de la collecte de données. L'exécution de la procédure est parfois bloquée en raison de contraintes budgétaires. Il faut donc trouver les voies et moyens pour pérenniser cette activité. Les piézographes existants doivent être réparés et remis en marche. De nouveaux piézomètres doivent être créés en remplacement de ceux qui sont endommagés.
4. Le réseau piézométrique secondaire est en train d'être organisé par l'ONEA en ce qui concerne ses sites exploités pour l'approvisionnement en eau potable. La DIRH n'a pas encore pris en compte le suivi de l'exploitation intensive des eaux souterraines par des particuliers. Il est souhaitable que la collecte de données soit une activité continue et que les données soient régulièrement transmises à la DIRH pour la création d'une banque de données des sites d'exploitation des ressources en eau souterraine.
5. La gestion des données connaît d'énormes difficultés au niveau national. A l'heure actuelle, cette procédure de gestion des données n'est pas suivie et chaque chef de

division² de la DIRH dispose d'un ordinateur sur lequel il gère les données de son bassin versant. Ainsi, l'ordinateur du Service des Etudes et Publications de la DIRH, qui devrait stocker la banque hydrométrique nationale, ne contient que les données de quelques stations. Le logiciel HYDROM 3.2 utilisé pour la gestion des données hydrométriques convient pour le moment au besoin spécifique de stockage des données. Il présente en outre l'avantage d'être utilisé dans la plupart des autres pays d'Afrique de l'Ouest. Cependant il comporte des insuffisances dans son fonctionnement (gestion de mémoire défectueuse, fichiers d'impression non satisfaisants, manque de convivialité dans les sélections de champs pour extraction, etc.). Actuellement, HYDROM 3.2 n'est pas évolutif car l'IRD semble avoir arrêté son développement. Le logiciel BEWACO actuellement utilisé pour la gestion des données piézométriques fonctionne sous l'environnement MS-DOS. Il n'est pas convivial et n'est pas totalement maîtrisé par les agents de la DIRH. Le développement de BEWACO sous l'environnement Windows pourrait résoudre ce problème. Les données de l'ONEA ne sont pas encore dans la banque de données de la DIRH. Surtout, il faut déplorer l'inexistence d'archives sauvegardées sur un quelconque support informatique fiable et d'accès facile pour l'ensemble des données.

La validation des données et le calcul des quantités des ressources

Les données hydrométriques et piézométriques ont été fournies respectivement par les différents chefs de divisions hydrologiques de la DIRH qui les ont validées. Ces données sont souvent incomplètes par manque de mesures sur le terrain et contiennent parfois des valeurs aberrantes dues surtout aux interpolations du logiciel HYDROM 3.2. Les données pluviométriques proviennent surtout de la Direction de la Météorologie Nationale qui valide ses données avant de les mettre à la disposition des différents utilisateurs.

L'évaluation des ressources en eau du Burkina Faso est une tâche difficile pour plusieurs raisons :

- les quatre bassins hydrographiques nationaux sont des bassins partagés avec les pays voisins et la part d'eau d'écoulement appartenant au Burkina Faso n'est pas toujours facile à déterminer, spécialement pour les cours d'eau formant frontière.
- le réseau hydrométrique (malgré sa densité globalement acceptable selon les normes OMM) est le plus souvent concentré sur des zones restreintes et le nombre de stations suit l'évolution de la construction des grands ouvrages de mobilisation des eaux de surface. Son exploitation est coûteuse et le financement pour pérenniser cette activité est discontinu, généralement lié à des projets, ce qui provoque des ruptures plus ou moins longues dans la collecte de données sur le terrain.
- les données hydrométriques de base malgré leur importance en nombre ne sont pas homogènes car les séries chronologiques naturelles sont souvent interrompues par la construction de barrages sur les cours d'eau.
- le réseau piézométrique primaire connaît les mêmes difficultés que le réseau hydrométrique et actuellement de nombreux piézomètres sont détériorés.
- il n'existe pas encore de réseau piézométrique secondaire au niveau de la DIRH.
- il n'existe pas de banque nationale de données unifiée, les diverses banques de données existantes ne sont pas à jour et elles ne sont pas compatibles entre elles.

² A la DIRH, chacun des 4 grands bassins versants nationaux est suivi par un Chef de Division chargé d'organiser et de mener à bien la collecte des données hydrologiques et piézométriques.

Calcul des quantités des ressources en eau du Burkina Faso.**Ressources en eau totales du Burkina Faso**

Eau de surface par bassin versant :

BASSINS	Ecoulement annuel (en milliards de m ³)	Volume des retenues (en milliards de m ³)	Potentiel total du bassin (en milliards de m ³)
COMOE	1,6	0,09	1,6
MOUHOUN	2,9	0,29	3,1
NAKANBE	2,4	2,20	4,6
NIGER	0,9	0,10	1,0
TOTAL	7,8	2,68	10,3

Eau souterraine totale par bassin versant :

BASSINS	RESSOURCES TOTALES EN EAU SOUTERRAINE (en milliards de m ³)
COMOE	88
MOUHOUN	304
NAKANBE	37
NIGER	32
TOTAL	461

Eau souterraine annuellement renouvelable par bassin versant :

BASSINS	RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE RENOUVELABLES (En milliards de m ³)
COMOE	2.5
MOUHOUN	7.0
NAKANBE	6.1
NIGER	5.1
TOTAL	21.0

Les ressources en eau souterraine annuellement renouvelables du pays sont donc estimées à 21 milliards de m³, soit 7 % des réserves souterraines totales.

Ressources totales en eau renouvelable par bassin versant :

BASSINS	Ressources en eau de surface renouvelables (en milliards de m ³)	Ressources en eau souterraine renouvelables (en milliards de m ³)	Volume annuel renouvelable (en milliards de m ³)
Comoé	1.6	2.5	4.1
Mouhoun	3.0	7.0	10.0
Nakanbé	4.6	6.1	10.7
Niger	1.0	5.1	6.1
Total	10.2	21	31

Les ressources en eau annuellement renouvelables du Burkina Faso sont donc évaluées à 31 milliards de m³, soit environ 10 % des ressources totales.

Ressources en eau du Nakanbé ss.

Ressources en eau totales du Nakanbé ss. :

Le volume total des eaux écoulées et retenues dans le Nakanbé ss. est estimé à 2.7 milliards de m³. Les réserves totales en eau souterraines sont évaluées à 15 milliards de m³. Les réserves totales en eau valent donc 17.7 milliards de m³.

Ressources en eau renouvelables du bassin versant du Nakanbé ss. :

Ressources en eau de surface renouvelables (en milliards de m ³)	Ressources en eau souterraine renouvelables (en milliards de m ³)	Volume annuel renouvelable (en milliards de m ³)
2.7	2.4	5.1

Les ressources totales en eau renouvelables du bassin versant du Nakanbé ss. s'évaluent annuellement à 5.1 milliards de m³. Ces ressources renouvelables constituent 29 % des réserves totales du bassin versant. On voit donc que par rapport au niveau national, la part des ressources renouvelables en comparaison avec les ressources totales est beaucoup plus importante (29 % au lieu de 10 %). Cela met en évidence la grande dépendance des ressources en eau du Nakanbé aux variations climatiques. Ce constat n'est pas seulement spécifique au Nakanbé, il concerne toute la zone de socle cristallin dont la réserve totale en eau est bien plus faible que celle de la zone sédimentaire qui contient des aquifères très épais et productifs.

Le document "Politique et stratégies en matière d'eau" évaluait le total des apports annuels en eau de surface du Burkina Faso à 8 milliards de m³. Le calcul était basé sur la période sèche de 1974 à 1985. La valeur actuelle (10 milliards de m³) est due à l'impact des barrages construits de 1985 à nos jours.

Au plan international, on s'accorde à considérer que le seuil de pénurie se situe à 1000 m³ d'eau par habitant et par an. Ainsi, le Nakanbé ss. avec une disponibilité théorique moyenne de 1556 m³ d'eau renouvelable par habitant et par an (sur la base 3.278.472 habitants), et

l'ensemble du Burkina Faso avec une disponibilité théorique moyenne de 3006 m³ d'eau par habitant et par an (sur la base 10.312.609 habitants), se situent au-dessus du seuil de pénurie. La marge de sécurité est cependant faible, surtout pour le Nakanbé, et le taux d'accroissement de la population qui demeure élevé laisse présager un risque de pénurie pour un avenir assez proche.

De plus, ces valeurs moyennes occultent, tant pour le pays que pour le Nakanbé ss., la mauvaise répartition spatiale et temporelle des pluies du Nord au Sud ainsi que des conditions géologiques également défavorables dans la partie Nord et centrale du pays ; en réalité, les populations du Nord et du Centre ont moins de disponibilité d'eau que ceux du Sud et de l'Ouest, et se rapprochent encore plus de la situation de pénurie.

C'est un des points importants qui devra être analysé en détail dans l'état des lieux du secteur de l'eau que le programme GIRE se propose de réaliser fin 2000.

Quelques recommandations

On voit que le seuil de pénurie n'est pas très éloigné globalement au Burkina Faso, mais qu'il existe des régions du pays très hétérogènes sur le plan des ressources en eau. Dans une telle situation, il est très important d'avoir une connaissance aussi précise que possible des ressources en eau, totales et renouvelables. Afin de préciser les résultats qui viennent d'être présentés, les actions suivantes doivent être entreprises :

- l'ensemble du réseau hydrométrique de mesures (sur rivières et sur retenues) doit être exploité de manière régulière et continue par la DIRH ;
- la banque de données sous HYDROM 3.2 de la DIRH doit être régulièrement mise à jour;
- de nouvelles stations doivent être créées sur les principaux affluents non encore suivis, de préférence non loin des frontières pour mieux évaluer les apports aux pays voisins car tous les quatre bassins sont des bassins partagés ;
- les grands barrages doivent être l'objet de suivi avec une station à leur amont, une station dans le barrage et une station à l'aval du barrage ;
- la modélisation hydrologique et la simulation pluies-débits entreprises dans le cadre du Programme GIRE (voir plus loin dans ce rapport) doivent être étendues à l'ensemble des sous bassins pour améliorer l'évaluation des apports.
- la collecte de données piézométrique doit être une opération régulière ; la réalisation d'un levé altimétrique national des points d'eau de référence (piézomètres, sources) doit être envisagée à court terme en vue de permettre la réalisation de cartes piézométriques ;
- la réhabilitation des piézomètres détériorés est nécessaire. De nouveaux piézomètres doivent être insérés dans le réseau piézométrique national actuel et ce dans les régions suivantes du pays :
 - dans la partie aval du bassin versant du Nakanbé (Po, Manga, Bittou) qui donne certainement des réponses importantes sur la recharge dans le bassin ;
 - dans les zones sédimentaires aux caractéristiques hydrogéologiques non encore complètement comprises : zones de Nouna-Dédougou-Tougan-Ouahigouya, zone de Fo-N'Dorola, qui renferment d'énormes potentialités hydrogéologiques (Mouhoun moyen) ;

- dans la zone artésienne et la zone des sources de Orodara-Fon-Djigouera pour une meilleure compréhension des mécanismes d'alimentation et de vidange des aquifères du Mouhoun supérieur ;
- dans la zone Sud-Ouest du Burkina (Diébougou, Gaoua, Mangodara) en vue de mieux cerner l'alimentation des aquifères de la partie la plus arrosée du pays et aussi les mécanismes d'alimentation et de vidange des aquifères du Mouhoun inférieur.

2 INTRODUCTION

2.1 Objectif

Les grandes orientations du programme GIRE

Le Programme GIRE, défini par le Gouvernement du Burkina Faso et soutenu par le Gouvernement du Royaume du Danemark, a pour vocation de planifier et d'appuyer le processus de transition vers un nouveau mode de gestion de l'eau dans lequel les principes adoptés par la Nation Burkinabé seront rendus opérationnels. L'objectif global dans lequel s'inscrit le Programme GIRE est la mise en place d'une :

Gestion intégrée des ressources en eau du pays, adaptée au contexte national, conforme aux orientations définies par le Gouvernement Burkinabé et respectant les principes reconnus au plan international en matière de gestion soutenable et écologiquement rationnelle des ressources en eau.

Le passage d'une gestion sectorielle à une gestion intégrée des ressources en eau suppose une révision du cadre réglementaire et institutionnel du secteur de l'eau et un changement profond des mentalités de ses acteurs. C'est un processus de longue haleine qui exige des échanges constants entre parties prenantes à l'intérieur du pays et aussi avec les autres partenaires au niveau régional et international.

Dans cette vision à long terme de la réforme d'ensemble du secteur de l'eau du Burkina Faso, le Programme GIRE, d'une durée limitée à trois ans, a deux objectifs immédiats :

1. Définir (et adopter) les stratégies de transition vers la GIRE, sous forme d'un **Plan d'action national du secteur de l'eau** disponible 33 mois après le démarrage du Programme. L'élaboration de ce plan requiert au préalable de faire **l'état, l'analyse et l'évaluation de la situation actuelle dans le secteur de la gestion des ressources en eau**, disponible 21 mois après le démarrage du Programme.
2. Mettre en place les **capacités de base en matière de GIRE**. Il s'agit des capacités nécessaires et suffisantes pour que le Burkina Faso soit en mesure, dès l'achèvement du Programme GIRE, d'appliquer le Plan d'action national du secteur de l'eau. Le Plan comprendra lui-même d'autres actions de renforcement et/ou de création de capacités.

Pour que les deux objectifs immédiats ci-dessus ne restent ni théoriques ni lointains mais, au contraire, se matérialisent aussi tôt que possible sous forme opérationnelle, le Programme GIRE produira des résultats concrets au fur et à mesure de son avancement.

Le cas du Projet pilote du bassin du Nakanbé (PPN) constitue une particularité du Programme GIRE. Il vise d'une part à appliquer certaines dispositions de la GIRE à l'échelle d'un sous-bassin et, d'autre part, à en retirer des informations et des expériences utiles pour l'orientation d'ensemble du Programme. Toutefois, la mise en œuvre de la GIRE sur le bassin du Nakanbé ne constitue pas un troisième objectif immédiat du Programme car les activités du PPN, bien que faisant partie intégrante du Programme GIRE, sont transversales

à toutes les autres activités du Programme. Le PPN procède par une approche de type expérimentation / démonstration avec rétroaction sur les autres activités du Programme.

Après l'achèvement du Programme GIRE, la mise en application du *Plan d'action national du secteur de l'eau* se fera de façon échelonnée, sur le long terme, au rythme des capacités internes d'absorption et de mutation, et en fonction des ressources humaines et matérielles disponibles.

La structure et l'organisation du programme GIRE

Pour atteindre les objectifs immédiats poursuivis (état des lieux et plan d'action), le Programme GIRE a produit un certain nombre de résultats qui relèvent de divers secteurs et auxquels correspondent 5 axes de travail :

1. Un axe technique (OTEG) chargé des aspects techniques de la connaissance et du suivi des ressources en eau, de la demande et de l'environnement des zones humides.
2. Un axe législatif (CLER), chargé de contribuer à la mise en place d'un cadre législatif adapté à la gestion intégrée des ressources en eau.
3. Un axe économique (ECOF), chargé d'étudier les aspects économiques de la GIRE.
4. Un axe ressources humaines et organisationnelles (CIOR), chargé d'examiner les modalités de mise en œuvre de la GIRE sur le plan des ressources humaines.
5. Un axe de communication (COSE) chargé des voies et moyens de communication propres à vulgariser le concept de la GIRE et à établir des échanges entre tous les acteurs de l'eau.

Conformément à la fonction du PPN dans le programme GIRE décrite ci-dessus, les axes contribuent mutuellement à l'achèvement de ce volet, avec la coordination de la responsable du PPN.

Compte tenu du grand nombre de résultats à produire, ceux-ci sont organisés en deux groupes de résultats :

1. Un couple de résultats correspondant à l'objectif immédiat n° 1 (stratégies de transition vers la GIRE définies et adoptées) :
 - Etat des lieux,
 - Plan d'action national du secteur de l'eau.
2. Des résultats correspondant à l'objectif immédiat n° 2 (capacités de base en matière de GIRE mises en place).
 - Eléments spécifiques de renforcement des capacités.

Pour ces deux groupes, les résultats visent deux niveaux : le niveau national, et le bassin du Nakanbé en relation avec le PPN.

De façon plus spécifique, et afin de contribuer à l'état des lieux sur les ressources en eau du pays, l'axe OTEG doit produire une série de rapports techniques relatifs à :

- L'évaluation des ressources en eau sur le plan quantitatif et l'état de leur suivi (résultat 1.1)
- L'évaluation des ressources en eau sur le plan qualitatif et l'état de leur suivi (résultat 1.2)
- L'évaluation de la demande en eau et l'état de leur suivi (résultat 1.3)
- L'évaluation des sources de pollution et de l'état de leur suivi (résultat 1.4)

-
- Le recensement des ouvrages de mobilisation de l'eau et l'état de leur suivi (résultat 1.5)
 - Le bilan des écosystèmes humides et de leur vulnérabilité (résultat 1.6)
 - L'analyse des risques liés à l'eau (résultat 1.7) sous un double aspect : les risques sanitaires et les risques matériels (inondations, etc).

Buts du résultat R 1.1

La planification et la gestion des ressources en eau nécessitent avant tout une bonne connaissance de ces ressources, sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif. Un aspect fondamental à considérer est la part des ressources qui est annuellement renouvelable et qui est exploitable à long terme.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le résultat 1.1 "Connaissance des ressources en eau sur le plan quantitatif – Pertinence du système de suivi" qui fait l'objet du présent rapport. Ce résultat qui est prévu dans le premier groupe de résultat "Etat des lieux" correspondant à l'objectif immédiat n°1 du cadre logique : "stratégies de transition vers la GIRE définies", a pour objectifs :

- l'estimation des ressources en eau disponibles : eau de surface et souterraine, ressource totale, ressource renouvelable. Cette connaissance ne répond pas à un désir scientifique gratuit, elle est un paramètre de base de l'adéquation à court et long terme des ressources et des besoins, qu'il s'agisse des besoins de l'homme ou de l'environnement.
- l'amélioration du système de suivi des ressources, de traitement et d'archivage des données accumulées ; en effet, l'eau n'est pas figée, elle évolue et il est indispensable de suivre cette évolution, à la fois pour mesurer les fluctuations naturelles des cours d'eau et des aquifères, et suivre l'impact des multiples perturbations et prélèvements liés aux activités humaines.

La structure du rapport

Le présent rapport s'articule sur les chapitres suivants :

- Introduction : présentation des objectifs, de la méthodologie, les données générales, quelques définitions.
- L'eau de surface : les données collectées et leur évaluation, le bilan des eaux par bassin versant et pour le pays ;
- L'eau souterraine : les données collectées et leur évaluation, le bilan des eaux par bassin versant et pour le pays ;
- Tableau comparatif des eaux de surface et souterraine ;
- Recommandations pour l'amélioration du suivi et de la gestion des données.

2.2 Approche

Ce travail sur les aspects quantitatifs des ressources en eau a été uniquement documentaire. Il s'est agi d'identifier les sources de données existantes, de les collecter, de les évaluer et d'en estimer la pertinence, puis de les utiliser en vue de produire une synthèse actualisée sur les ressources et les méthodes de suivi.

Aucun travail de terrain n'a été effectué pour acquérir des données nouvelles ou les actualiser. Cette étude offre donc l'intérêt de faire un état des lieux des données et de leur gestion. Mais par là même, elle souffre d'une limitation qui est précisément celle des données actuelles : elles sont souvent incomplètes, parfois non dépouillées, stockées dans des fichiers non harmonisés entre les divers détenteurs. Ces inconvénients justifient certaines recommandations qui sont faites à la fin de ce rapport.

Comme la structure du rapport le reflète, les travaux ont été conduits par étapes selon plusieurs critères :

- On a envisagé séparément l'eau de surface et l'eau souterraine. Les types de données, leur acquisition, leur traitement sont en effet assez différents. Ce n'est que vers la fin que l'interface entre les deux a été traitée (l'infiltration, la recharge et la vidange des aquifères).
- On a d'abord travaillé à une échelle restreinte pour le bassin du Nakanbé ss. Par la suite, l'ensemble du pays a été traité, avec une approche synthétique par bassin versant.
- Les diverses étapes de préparation du rapport ont été l'identification des sources de données, leur collecte auprès des services détenteurs, leur validation et une évaluation de leur pertinence, et enfin leur exploitation pour faire un bilan des ressources. Ces diverses activités ont été matérialisées par la production de notes techniques spécifiques qui ont servi d'étape intermédiaire pour la production du présent rapport. Ces notes techniques, disponibles à la DIRH, sont les suivantes :

Notes techniques relatives à l'eau de surface pour le bassin du Nakanbé ss.

Titre de la note technique	Code	Date de publication
Sources de données existantes recensées du Nakanbé ss. A.1.1.1	NT – GIRE – PPN – Volet Ressources en Eau – A1.1.1	29 décembre 1999
Données existantes collectées pour le bassin versant du Nakanbé ss. A.1.1.2	NT – GIRE – PPN – Volet Ressources en Eau – A1.1.2	31 décembre 1999
Diagnostic des méthodes de suivi/évaluation actuelles du Nakanbé ss A.1..3	NT – GIRE – PPN – Volet Ressources en Eau – A1.1.3	18 janvier 2000
Validation /exploitation des données existantes, évaluation des quantités du Nakanbé ss. A5 du résultat R1.1	NT – GIRE – PPN – Volet Ressources en Eau – 5	03 mars 2000

Notes techniques relatives à l'eau de surface pour le Burkina Faso (plus validation des données sur les eaux souterraines)

Titre de la note technique	Code	Date de publication
----------------------------	------	---------------------

Sources de données existantes recensées du Burkina Faso	NT – OTEG – R.1.1 – A1	11 avril 2000
Données existantes collectées pour le Burkina Faso.	NT – OTEG – R.1.1 – A2	12 avril 2000
Diagnostic des méthodes de suivi / évaluation actuelles.	NT – OTEG – R.1.1 – A3	18 avril 2000
Validation /exploitation des données existantes, évaluation des quantités des ressources en eau du Burkina Faso Tome I : Eaux de surface	NT – OTEG – R.1.1 – A4	10 avril 2000
Validation /exploitation des données existantes, évaluation des quantités des ressources en eau du Burkina Faso Tome II : Eaux souterraines	NT – OTEG – R.1.1 – A4	6 mai 2000
Validation /exploitation des données existantes, évaluation des quantités des ressources en eau du Burkina Faso Tome I : Synthèse	NT – OTEG – R.1.1 – A4	7 mai 2000

Notes techniques relatives à l'eau souterraine pour le Burkina Faso.

Titre du document	Code	Date de publication
Sources de données existantes recensées à l'échelle nationale R1.1 A.	NT – GIRE – PPN/OTEG Volet Ressources en Eau	20 mars 2000
Données existantes collectées pour le Burkina Faso	NT – GIRE – PPN/OTEG – Volet Ressources en eau	
Diagnostic des méthodes de suivi / évaluation des ressources en eau souterraine	NT – GIRE – PPN/OTEG – Volet Ressources en Eau	12 avril 2000
Connaissance des ressources en sur le plan quantitatif – pertinence du système de suivi (Résultat 1.1)	RT – OTEG 1	5 mai 2000

Enfin, pour compléter l'interprétation classique des données hydrologiques, il a été procédé à la modélisation des bassins pour lesquels des données suffisantes permettaient de caler un modèle pluie-débits à l'aide du logiciel SMAP. Les résultats de cette modélisation et la comparaison avec les résultats classiques figurent à la fin du chapitre 3.

L'intérêt de ce travail de modélisation est de pouvoir reconstituer les débits de bassins pour lesquels les données hydrologiques sont absentes ou lacunaires. On verra que le calage du modèle par rapport aux données de débit mesurées est très fiable. On peut donc considérer que l'emploi de SMAP permet d'obtenir pour un coût très modeste des estimations fiables des débits là où elles manquent, par défaut de matériel ou de financement pour le suivi.

2.3 Données de base

Le Burkina Faso est enclavé au cœur de l'Afrique de l'Ouest. Il est situé entre les parallèles 9°3' et 15° Nord et les méridiens 2°30' Est et 5°30' Ouest. Le Burkina fait frontière avec le Mali à l'Ouest et au Nord, avec le Niger à l'Est et avec le Bénin, le Togo, le Ghana et la Côte D'Ivoire au Sud.

Ouagadougou, la capitale du Burkina est situé à 1200 km du port d'Abidjan (Côte D'Ivoire) à 980 km du port de Téma (Ghana) et à 970 km du port de Lomé (Togo).

Climat - Pluviométrie

La pluviométrie au Burkina Faso est caractérisée par une forte variation interannuelle et une mauvaise répartition spatiale. On distingue trois zones climatiques aux caractéristiques suivantes :

- La zone sud soudanienne : elle a une pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 900 mm et est située au sud du parallèle 11°30'N ;
- La zone nord soudanienne : elle a une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 et 900 mm et est située entre les parallèles 11°30' et 14°N ;
- La zone sahélienne : elle est au-dessus du parallèle 14°N et a une pluviométrie annuelle moyenne inférieure à 600 mm .

Dans la zone sahélienne, les précipitations durent environ 3 mois. Elles durent 4 à 5 mois dans la zone nord soudanienne et 6 à 7 mois dans la zone sud soudanienne.

Les pluies de forte intensité sur les sols limoneux nus (début de saison des pluies) provoquent la formation d'une croûte sur laquelle les eaux ruissellent et favorisent l'érosion régressive et le creusement des chenaux d'écoulement. De telles pluies remplissent les marigots et les bas-fonds mais ne favorisent pas l'infiltration.

Depuis les années 1970, la pluviométrie a fortement baissé. Toutes les isohyètes ont connu une importante translation vers le sud du pays. Les conséquences immédiates de cette sécheresse prolongée ont été :

- la chute des débits des rivières (notamment ceux d'étiage liés au déversement des nappes);
- la baisse des réserves totales en eau souterraine ;
- la dégradation du couvert végétal suite à une mortalité massive des ligneux ;
- la pénurie d'eau potable au niveau des centres urbains et des villages.

C'est dire que l'eau se fait rare au moment où la démographie croissante et l'urbanisation accélérée ont accru les besoins sectoriels (agriculture, élevage, industrie, énergie et mines, etc.) et la nécessité de prélever des débits ponctuels élevés.

Au cours des années 1990, on a vu la pluviométrie s'améliorer, mais il convient de rappeler qu'il n'est pas possible dans l'état actuel de la météorologie de prédire avec certitude une tendance pour les prochaines décennies ; tout au plus peut-on produire des statistiques avec des probabilités de retour d'années sèches ou humides, mais l'origine et la période de ou des cycles qui affectent la pluviosité ne sont pas encore suffisamment connues pour prétendre à des prédictions raisonnables.

Végétation

La végétation est marquée par la prédominance des formations végétales à couvert peu fermé et l'existence d'une strate herbacée sur l'ensemble du territoire.

La dégradation de l'environnement végétal (déforestation, accroissement des sols cultivés, nus et ameublés en début de saison des pluies) a des conséquences négatives sur la disponibilité en eau en saison sèche, à savoir :

- une augmentation du ruissellement et des transports de matières solides par les eaux ;
- une diminution de l'infiltration et donc des réserves d'eau souterraine.

Géologie

L'histoire géologique du Burkina commence avec la formation du craton Ouest Africain, vaste noyau stable précambrien qui forme l'ossature de la majeure partie du pays et dans lequel on distingue :

- Les formations antébirimiennes, essentiellement des granites et des gneiss qui constituent une grande partie du pays ;
- les formations birimiennes comprenant des roches métamorphisées d'origine sédimentaire ou volcanique et des granites syntectoniques ;
- des intrusions granitiques post-tectoniques qui recourent les formations précédentes.

Sur ce socle cristallin sont venues se déposer des formations sédimentaires marines précambriennes (grès, schistes, calcaires, flanc sud du bassin de Taoudéni) et des dépôts beaucoup plus récents (Tertiaire) dits du "Continental Terminal".

Cette géologie détermine très largement les ressources en eau du pays. Dans les zones de socle cristallin, l'eau se trouve soit dans la zone altérée, plus ou moins épaisse, soit dans les fractures de la roche saine sous-jacente. Si la roche mère est de type acide (granites, gneiss, granodiorites, migmatites, etc), la roche altérée (dite arène) est d'aspect sableux et peut contenir une nappe continue relativement facile à exploiter ; si la roche mère est de type basique (roches vertes, gabbros, amphibolites, schistes, etc), la roche altérée est beaucoup plus argileuse et les potentialités aquifères sont moins bonnes. Dans le socle sain, les fractures offrent des débits très variables selon leur configuration (état d'ouverture, de colmatage, etc), mais elles restent difficiles à localiser, même avec les moyens techniques tels que photo-interprétation et prospection géophysique. Les débits moyens obtenus dans les forages en zone de socle sont de l'ordre de 5 m³/h. Dans la zone sédimentaire par contre, les aquifères sont beaucoup plus épais et continus. Au Burkina Faso, la bordure sud du bassin de Taoudéni (Nord de Bobo-Dioulasso) est constituée d'une accumulation de roches à dominante gréseuse atteignant plusieurs centaines (et peut-être plusieurs milliers) de m d'épaisseur. Ces roches abritent plusieurs niveaux aquifères superposés parfois très productifs. Certains aquifères sont en charge et même artésiens, dans la région au nord d'Orodara. Certains forages de la zone sédimentaire débitent plusieurs centaines de m³/h.

Relief

Le territoire du Burkina se caractérise par son uniformité et sa planéité. Plus de 98 % du pays se situe entre 160 et 480 m d'altitude. Les ¾ du pays se présentent comme une vaste pénéplaine où se distinguent deux types de morphologie :

- une succession de buttes tabulaires cuirassées dominant de longs glacis ;
- une succession de croupes molles à versants convexes et de talwegs plus marqués et plus nombreux.

Les bassins versants

Dans le projet de loi d'orientation relative à la gestion de l'eau, les bassins versants ont été retenus comme les unités spatiales pertinentes pour asseoir la future gestion des ressources en eau.

Quatre grands bassins versants existent dans le pays (voir carte en annexe) :

- le bassin de la Comoé;
- le bassin du Niger;
- le bassin du Mouhoun ;
- le bassin du Nakanbé.

Le Nakanbé (ex-Volta Blanche) est l'un des affluents du fleuve Volta. Selon le contexte, on considère :

- Soit le "Nakanbé sl." (Nakanbé au sens large.) qui couvre une superficie de 81.106 km² avec les sous bassins de ses affluents Sissili, Nazinon et Pendjari.
- Soit le "Nakanbé ss." (Nakanbé au sens strict) qui couvre une superficie de 34.311 km² et qui a été retenu par le Programme GIRE comme une zone pilote pour la mise en œuvre d'actions liées au processus de la gestion intégrée des ressources en eau.

2.4 Quelques définitions

Réserve totale : c'est l'ensemble de toutes les ressources en eau du pays, pour le domaine dont on parle (eau souterraine ou de surface)

Réserve renouvelable : c'est le volume d'eau qui peut se renouveler (on le considère en général par année) à partir des pluies moyennes. Pour l'eau de surface, c'est l'écoulement des cours d'eau ; on le mesure avec des stations limnimétriques (échelles de mesure de la hauteur de l'eau à partir de laquelle on peut calculer le débit ; elles sont lues par des observateurs) ou limnigraphique (appareil de mesure automatique de la hauteur d'eau). Il faut y ajouter les volumes retenus dans les barrages.

Réserve facilement accessible : c'est la part des réserves qui peut être facilement exploitée compte tenu des moyens techniques habituellement mis en œuvre. Au Burkina Faso, on peut considérer que l'eau se trouvant dans les 200 premiers mètres sous terre est facilement accessible. Bien que cette profondeur n'ait rien d'exceptionnel dans d'autres pays, les forages de plus de 200 m sont très peu fréquents au Burkina et dans la pratique on constate que les entreprises éprouvent des difficultés pour forer plus bas (matériel inadapté ou insuffisant, manque de savoir-faire). Par opposition, la réserve profonde est celle qui se trouve plus bas.

Forage artésien : forage captant un aquifère dont l'eau est sous pression et jaillit naturellement à la surface du sol. Une variante est le forage "en charge" lorsque la pression de l'eau est insuffisante pour faire jaillir l'eau au niveau du sol, mais amène le niveau piézométrique dans le forage à une profondeur moins grande que celle de l'aquifère capté.

Forage négatif : un forage (ou un puits) peut être négatif pour deux raisons ; soit il n'y a pas d'eau ou trop peu pour l'exploitation (habituellement, moins de 500 l/heure), le forage est alors hydrogéologiquement négatif (au moins pour la profondeur forée) ; soit le forage a échoué pour des raisons techniques (éboulement, perte d'outil, etc), il est alors techniquement négatif, ce qui ne signifie pas qu'il n'y a pas d'eau.

Piézomètre : forage dont la finalité est la mesure des fluctuations du niveau piézométrique (niveau d'eau naturel dans le forage). Un piézomètre idéal ne sert pas aux prélèvements pour la consommation pour éviter les perturbations. Le niveau est mesuré soit par des observateurs avec une sonde piézométrique, soit par un pluviographe, appareil enregistreur automatique posé sur ou dans le forage. Le niveau statique est le niveau piézométrique quand le forage est au repos (non exploité) ; le niveau dynamique est le niveau perturbé par un prélèvement d'eau dans le forage ou à son voisinage.

Nappe continue : un aquifère a une nappe continue lorsqu'il se trouve dans une roche poreuse. A l'échelle de l'aquifère, l'eau se trouve dans la roche de façon continue et relativement homogène.

Nappe discontinue : un aquifère a une nappe discontinue lorsqu'il se trouve dans une roche non ou très peu poreuse. L'eau se trouve localisée dans les discontinuités (fractures, joints de stratification, accidents tectoniques divers, zones de dissolution) et la nappe n'est pas continue. Dans ce genre de terrain, un forage peut être positif et un autre à quelques mètres peut être négatif, ce qui n'est normalement pas le cas dans les aquifères continus.

Débit : il existe souvent une confusion au sujet des débits des forages et des aquifères. Les débits moyens des forages, enregistrés dans les bases de données, ne sont pas des valeurs fiables de la productivité des aquifères pour deux raisons :

- On confond encore trop souvent le débit de la pompe avec celui du forage : une pompe manuelle installée sur un forage pouvant débiter 100 m³/h ne produira jamais que 1 m³/h. Le débit de la pompe n'a rien à voir avec le débit du forage.
- La plupart des forages sont réalisés dans un but de satisfaire l'hydraulique villageoise. On recherche donc des débits modestes, et dès qu'un forage a pénétré suffisamment l'aquifère pour procurer ce débit, on s'arrête et il est équipé. Ce genre de forage ne capte donc souvent que la partie supérieure de l'aquifère et n'est pas représentatif des potentialités réelles.

Il existe de nombreux débits (débit au développement, débit d'essai, débit critique, débit d'exploitation, etc) et il convient d'être à la fois précis et prudent quand on exploite ces données, surtout si on se préoccupe des potentialités hydrogéologiques.

Module : pour les eaux de surface, c'est le débit moyen annuel d'écoulement, exprimé en m³/s.

Jaugeage : opération qui consiste à mesurer en un point d'un cours d'eau les débits correspondant à différentes hauteur d'eau. Il en résulte une courbe expérimentale (courbe de jaugeage ou de tarage) dont la lecture permet d'obtenir le débit en fonction d'une simple mesure de hauteur d'eau. Cette courbe reste valide tant que la section du cours d'eau n'est pas modifiée. Si cela se produit, il faut refaire la courbe.

3 L'EAU DE SURFACE

3.1 La collecte des données existantes

Il s'agit d'identifier et de collecter les données hydrométriques et pluviométriques pour les quatre bassins hydrographiques du Burkina Faso et le bassin versant du Nakanbé ss. en particulier.

Ces données ont été collectées auprès des principaux organismes chargés de leur gestion : la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH), la cellule informatique de la Direction Générale de l'Hydraulique (DGH), les Directions Régionales de l'Hydraulique (DRH), la Direction Générale de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) et la Direction Nationale de la Météorologie.

3.1.1 Travaux réalisés

La collecte de données a été faite auprès des différents organismes ci-dessus cités sous différents formats en fonction des logiciels de gestion des données utilisés et de différentes manières :

- Les données hydrométriques et pluviométriques du bassin versant du Nakanbé ss. ont été obtenues en septembre 1999 auprès du volet Evaluation qui les avait transférées du logiciel HYDROM 3.2 de la division hydrologique du Nakanbé de la DIRH sur son ordinateur dans le cadre de la modélisation hydrologique du bassin du Nakanbé ss. Après installation du logiciel HYDROM 3.2 sur son ordinateur, le responsable du volet Ressources en Eau du programme GIRE y a transféré ces données de base.
- Les données hydrométriques des quatre bassins nationaux du Burkina Faso ont été obtenues auprès des chefs de divisions hydrologiques de la DIRH.
- Les données hydrométriques, pluviométriques et piézométriques du logiciel BEWACO ont été obtenues auprès du Service Etudes et Publications (SEP) de la DIRH et de la cellule informatique de la DGH.
- Les données piézométriques de l'ONEA ont été obtenues sur disquettes auprès du service de gestion des ressources en eau sous format Excel.
- Les données pluviométriques de la Direction de la Météorologie Nationale ont été obtenues sur disquettes sous format Excel.

Données hydrométriques collectées

Données hydrométriques du logiciel HYDROM 3.2

HYDROM 3.2 est un logiciel qui permet la gestion, le traitement et l'exploitation de données hydrométriques. Il a été développé par l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (IRD, ex ORSTOM). Ce logiciel est utilisé par la plupart des services hydrologiques des pays francophones comme base de données hydrométriques.

Les données collectées pour l'ensemble des quatre bassins nationaux du Burkina Faso se composent des débits moyens mensuels, des modules des stations en rivières et des volumes moyens mensuels et annuels des retenues suivies sur le plan hydrologique.

L'annexe 1 montre l'inventaire des données hydrométriques collectées par bassin versant national.

Données hydrométriques du logiciel BEWACO

Le logiciel BEWACO a été développé dans le cadre du projet Bilan d'Eau exécuté par la Direction Générale de l'Hydraulique jusqu'au 31 octobre 1993. BEWACO a été mis au point avec le logiciel DATAFLEX. Il a été installé dans la plupart des Directions Régionales de l'Hydraulique et à la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH).

BEWACO est une base de données développée pour saisir, traiter et présenter différents types de données concernant le secteur eau au Burkina Faso, notamment :

- des points d'eau des villages ;
- des cours d'eau ;
- des retenues d'eau et
- de la météorologie.

Pour l'ensemble du Burkina Faso, les données hydrométriques de la banque BEWACO sont sur deux fichiers :

- le fichier "cours d'eau - stations" contient l'identification de 134 stations sur l'ensemble du territoire dont 33 stations situées sur la bassin du Nakanbé ss. La liste des stations hydrométriques du Nakanbé ss. est donnée en annexe 2 et celle du Burkina Faso en annexe 3.
- le fichier "cours d'eau - débits" contient 963 enregistrements représentant les données de débits moyens mensuels de l'ensemble du réseau hydrométrique du Burkina Faso. L'annexe 4 présente les tableaux des débits moyens mensuels et des modules interannuels des stations hydrométriques étalonnées par bassin versant hydrographique national.

Données pluviométriques collectées

Les données pluviométriques dont dispose aujourd'hui le volet Ressources en Eau proviennent du logiciel BEWACO, du volet Evaluation et du programme RESO.

Données pluviométriques du logiciel BEWACO

BEWACO contient les données pluviométriques mensuelles et annuelles de 145 postes de l'ensemble du Burkina Faso dont 36 sont situés sur le bassin versant du Nakanbé ss.

L'annexe 5 donne la liste des stations pluviométriques du Burkina Faso.

L'annexe 6 donne la liste des stations pluviométriques du Nakanbé ss

Les données vont généralement de la création des stations à 1992. Pour chaque station, les pluies mensuelles et annuelles ont été saisies à partir de données collectées à la Direction de la météorologie Nationale du Burkina.

Données pluviométriques récupérées auprès du Volet Evaluation du GIRE

Les données mensuelles et annuelles de 1960 à 1998 de 62 postes pluviométriques du bassin du Nakanbé ss. ont été copiées à la Direction de la Météorologie. Les pluies mensuelles et annuelles de 1961 à 1999 des postes pluviométriques du Burkina Faso ont été copiées à la Direction de la Météorologie Nationale.

Les données pluviométriques du Nakanbé ss. utilisées pour la mise en œuvre du modèle de simulation pluies-débits Cequeau dans le cadre du projet Eau et Développement Régional (EDR) exécuté par la DIRH en 1996, ont été également récupérées auprès du volet Evaluation. Ces pluies sont gérées par la banque de données HYDROM 3.2. Cette banque de données pluviométriques sur HYDROM 3.2 se compose d'un répertoire réseau nommé BANKPLUI.RES et d'un répertoire de données nommé BANKPLUI.DOS. Le répertoire BANKPLUI.DOS contient les données de 70 postes pluviométriques du bassin du Nakanbé dont 20 du réseau pluviométrique EDR (1995-96) et 50 du réseau pluviométrique de la Direction de la Météorologie Nationale (de 1961 à 1995).

Données pluviométriques récupérées auprès de la DRH/HB

Dans le cadre de l'exécution du programme de Valorisation des Ressources en Eau dans le Sud-Ouest du Burkina Faso (RESO), la Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts-Bassins (DRH/HB) a mis en place une banque de données pluviométrique sur le logiciel PLUVIOM 2.0, développé par l'IRD. Cette banque opérationnelle contient les pluies journalières de tous les postes pluviométriques de la zone couverte par le programme RESO. Les données couvrent la période de la création des postes à 1997 - 1998. Elle contient également des données de quelques postes du Mali et de la Côte-d'Ivoire situés sur le bassin versant de la Comoé. Les données mensuelles de tous les postes existants ont été extraites de PLUVIOM en format texte, exploitable par Excel.

3.1.2 Conclusion sur la collecte de données

Les données hydrométriques collectées proviennent de deux sources principales :

- La première source est la DIRH qui les gère sous le logiciel HYDROM 3.2. Les débits moyens mensuels, les modules des stations en rivières, les volumes mensuels et annuels des retenues ont été fournis pour chaque bassin versant national du Burkina Faso par son chef de division hydrologique. Les banques de données du service SEP et des divisions hydrologiques ne sont pas toutes à jour.
- La seconde source est le logiciel BEWACO qui ne contient que les débits moyens mensuels et les modules de quelques stations étalonnées en rivières, de l'origine de leur création à 1992. La mise à jour de cette banque de données hydrométriques est conditionnée par celle de la DIRH qui en est sa source de données.

Les données pluviométriques sont issues de quatre sources :

- Le logiciel BEWACO qui contient les pluies mensuelles des postes pluviométriques de la Direction de la Météorologie Nationale du Burkina Faso de la création des postes à 1992. Cette banque devrait être mise à jour.

-
- La Direction de la Météorologie Nationale du Burkina Faso qui est l'institution spécialisée pour la collecte et la gestion des pluies du réseau pluviométrique officiel du Burkina Faso.
 - Le logiciel HYDROM 3.2 qui contient les données journalières des postes pluviométriques installés par le projet EDR en 1995 et des postes officiels du bassin du Nakanbé ss. exploités par la Direction de la Météorologie Nationale.
 - La banque de données pluviométriques PLUVIOM de la DRH/HB. Ces données collectées sont constituées de pluies mensuelles des postes d'intervention du programme RESO.

Les principales difficultés rencontrées au cours de la collecte de données sont :

- l'absence d'une banque nationale régulièrement mise à jour pour les différents types de données surtout au niveau de la DIRH ;
- la gestion des données par divers logiciels sous divers formats.

3.2 Evaluation de la situation des données

3.2.1 Etat actuel du suivi de la ressource

Le suivi actuel des ressources en eau de surface du Burkina Faso est principalement assuré par :

- la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH) qui exploite et gère les réseaux hydrométriques et piézométriques nationaux de base ;
- l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) qui exploite et gère un réseau hydrométrique installé sur les barrages utilisés pour l'approvisionnement en eau potable ;
- la Société Nationale d'Electricité du Burkina Faso (SONABEL) qui exploite et gère un réseau hydrométrique constitué du réseau de prévision des crues du barrage de Bagré, des installations hydrométriques du barrage de la Kompienga et d'un réseau piézométrique installé en aval immédiat des barrages hydroélectriques de Bagré et de la Kompienga.

Le suivi quantitatif global des eaux de surface du Burkina Faso se fait à partir des données hydrométriques collectées sur les différents réseaux hydrométriques. Ces données sont traitées par la DIRH.

Le réseau hydrométrique

Le réseau hydrométrique est réparti sur les quatre bassins versants hydrographiques nationaux de la Comoé, du Mouhoun, du Nakanbé et du Niger.

Il se compose de stations hydrométriques situées sur les rivières ou les retenues. Les stations hydrométriques sont équipées soit d'échelles limnimétriques simples, soit d'échelles et d'appareils enregistreurs.

Les principes de conception du réseau hydrométrique national de suivi des ressources en eau de surface ont été discutés lors d'un atelier tenu à la DIRH du 25 au 27 septembre 1996, dans le but de définir le cadre du développement du réseau. Selon ces principes, il a été décidé de structurer le réseau hydrométrique en deux parties :

- Un réseau hydrométrique de base permettant de suivre les ressources en eau de surface de façon générale (stations avec de longues séries d'observations, représentant les bassins et les zones climatiques du pays). Les stations sont permanentes sur des sites représentatifs et leurs données constituent un patrimoine national ;
- Un réseau hydrométrique étendu composé de stations avec des buts spécifiques (surveillance de l'exploitation, études, etc.) ou pour établir la corrélation avec une des stations de base. Ces stations hydrométriques sont temporaires.

L'ensemble des stations du réseau hydrométrique du Burkina Faso, proposé en septembre 1996 comprend 69 stations de bases et 33 stations pour le réseau étendu. Ces sites sont répartis par bassin versant hydrologique national selon le tableau ci-dessous :

Nom du bassin versant national	Stations hydrométriques	
	Nombre de stations du réseau de base	Nombre de stations du réseau étendu
Comoé	11	6
Mouhoun	22	2
Nakanbé	22	17
Niger	14	8
TOTAL	69	33

La figure en annexe 7 représente la carte des bassins versants hydrologiques nationaux du Burkina Faso.

La figure en annexe 8 représente la carte du réseau hydrométrique du Nakanbé ss.

Les tableaux de l'annexe 9 représentent la liste des stations par bassin versant hydrologique national.

Le tableau de l'annexe 10 représente la liste des stations hydrométriques du Nakanbé ss.

La collecte de données hydrométriques

La collecte des données brutes se fait au cours de tournées de visites et de contrôle des stations hydrométriques, effectuées par les brigades des services de l'inventaire des ressources hydrauliques (SIRH), des Directions Régionales de l'Hydraulique (DRH) et de la DIRH. Ces tournées sont mensuelles pour les stations uniquement équipées d'échelles limnimétriques ou avec un limnigraphe à autonomie mensuelle et semestrielles pour les stations équipées d'un limnigraphe avec un cycle de fonctionnement semestriel pour les

sites très difficiles d'accès. En cas de contraintes budgétaires, l'exécution de la procédure est bloquée.

La planification des tournées de terrain est coordonnée par les chefs de divisions de la DIRH. L'exécution des travaux de terrain est dirigée par les chefs de brigades hydrologiques.

Avant le début de la saison des pluies, les chefs de divisions de la DIRH font le tour de toutes les stations dans leur région d'action. Le but de cette opération est l'examen de l'état des stations, l'estimation des travaux d'installation de nouvelles stations (si nécessaire), des travaux de réfection des stations existantes, le nivellement des échelles par rapport au point de référence et la mise en marche des limnigraphes.

La collecte de données est assurée par les brigades hydrologiques qui récupèrent les relevés de hauteurs d'eau auprès des lecteurs d'échelles embauchés par la DIRH et l'ONEA. Ces brigades sont également chargées de changer les diagrammes des appareils enregistreurs et d'effectuer des jaugeages.

Au niveau de la SONABEL qui dispose d'un système hydrologique de prévision des crues du barrage hydroélectrique de Bagré, les données de base télé-transmises par les plates formes de collecte de données (PCD) sont réceptionnées par la SONABEL au site du barrage et à la Direction de Ouagadougou. Ces données sont traitées par la SONABEL qui envoie chaque mois les hauteurs d'eau et les débits turbinés journaliers à la DIRH pour exploitation.

Le contrôle et le traitement des données hydrométriques

Les mesures des cotes instantanées sont effectuées soit par un observateur une à deux fois par jour, soit par un enregistrement continu des niveaux d'eau par un limnigraphe. Les jaugeages sont effectués par les brigades hydrologiques. Toutes ces données collectées sont contrôlées, dépouillées, traitées et saisies dans la banque de données hydrométriques du logiciel HYDROM 3.2 sur l'ordinateur de chaque division hydrologique. Ces données devraient normalement être au fur et à mesure transférées dans la banque centrale du Service Etudes et Publications (SEP) de la DIRH.

Les brigades dépouillent les données collectées et transmettent une copie des dépouillements provisoires au chef de division qui assure le contrôle, la validation et la saisie dans la banque de données. Les données originales (fiches de relevés de niveaux d'eau des observateurs, limnigrammes, fiches de jaugeages) sont conservées par le service de l'inventaire des ressources hydrauliques de la Direction Régionale de l'Hydraulique.

Au niveau de l'ONEA, les niveaux d'eau sont transcrits sur des carnets de lectures élaborés par la DIRH. Les brigades récupèrent mensuellement les relevés du mois précédent.

3.2.2 Validation des données hydrométriques

Les données hydrométriques qui seront utilisées pour cette activité proviennent de la banque de données du logiciel HYDROM 3.2 des différentes divisions hydrologiques de la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH) et du logiciel BEWACO de la cellule informatique de la Direction Générale de l'Hydraulique (DGH).

Les données du logiciel HYDROM 3.2

Les débits moyens mensuels et les modules ont été extraits du logiciel HYDROM 3.2 utilisé par la DIRH pour la gestion des données hydrométriques. Ces données ont été transférées sur le logiciel Excel sur lequel le calcul des valeurs moyennes mensuelles et interannuelles ont été reprises. Les données ainsi traitées sont stockées dans la banque de données hydrologiques du volet Ressources en Eau du programme GIRE. Les données originales issues de la DIRH ont été validées par les différents chefs de divisions hydrologiques de la DIRH et peuvent donc être utilisées pour le calcul des quantités des eaux de ruissellement.

Les volumes moyens mensuels et annuels des retenues ont également été extraits de HYDROM 3.2 utilisé par la DIRH pour la gestion des données hydrométriques. Ces données ont été transférées sur le logiciel Excel sur lequel les calculs des valeurs moyennes mensuelles et interannuelles ont été reprises. Les données ainsi traitées sont stockées dans la banque de données hydrologiques du volet Ressources en Eau du programme GIRE. Les données originales issues de la DIRH ont été validées par les différents chefs de divisions hydrologiques de la DIRH et peuvent donc être utilisées pour le calcul des quantités des eaux stockées par les retenues.

Les données du logiciel BEWACO

La banque de données hydrométriques du logiciel BEWACO est alimentée à partir des données de la DIRH. Ces données sont constituées de débits moyens mensuels et des modules de quelques stations hydrométriques étalonnées sur rivières. BEWACO ne contient pas de données sur la variations des volumes des retenues.

Cette banque n'étant pas à jour par rapport à la banque de HYDROM 3.2, seules les données de HYDROM 3.2. de la DIRH seront utilisées pour l'évaluation des quantités des ressources en eau de surface du Burkina Faso.

Analyse critique du réseau hydrométrique

Le réseau hydrométrique de base comprend 69 stations et un réseau étendu comprenant 33 stations de plus. Sur ce total de 102 stations, 67 stations sont localisées sur des cours d'eau et 45 sur des retenues.

Cet ensemble correspond à une densité de 3,7 stations pour 10.000 km² (la norme de l'OMM est de 3,4 pour 10.000 km²).

La densité des stations hydrométriques par bassin versant hydrologique national est donnée par le tableau qui suit :

Nom du bassin national	Nombre de stations du réseau de base	Nombre de stations du réseau étendu	Superficie du bassin versant (en km ²)	Densité du réseau de base (pour 1 000 km ²)	Densité de l'ensemble du réseau	Observations sur la densité
Comoé	11	6	18 326	6,0	9,3	bonne
Mouhoun	22	2	91 000	2,4	2,6	faible
Nakanbé sl.	22	17	81 000	2,7	4,8	bonne

Niger	14	8	83 162	1,7	2,6	faible
-------	----	---	--------	-----	-----	--------

Concernant le bassin versant du Nakanbé ss., avec un réseau hydrométrique de base actuel de 12 stations, la densité du réseau de base est de 3,5 stations pour 10.000 km² pour une superficie de 34.311 km². Cette densité est admise pour l'évaluation des quantités des ressources en eau de surface du bassin versant. La densité est théoriquement satisfaisante si on prend en compte les 11 stations du réseau hydrométrique secondaire car elle passe à 6,7 stations pour 10.000 km². Cependant, les stations sont mal réparties dans l'espace car elles sont plus concentrées dans la partie Nord du bassin où il existe de nombreux petits barrages.

Si pour l'ensemble du Burkina Faso la densité des stations hydrométriques est admissible au niveau des normes de l'OMM, elle demeure insuffisante lorsqu'on se situe au niveau des bassins nationaux et des sous bassins versants. Les stations sont généralement concentrées dans une même zone et les grands barrages doivent être équipés de sites de mesures à leur amont, au niveau de la retenue et à l'aval de la retenue pour évaluer avec plus de précision les quantités des ressources en eau de surface.

Analyse critique de la gestion des données hydrométriques

Les logiciels HYDROM 3.2 et BEWACO sont respectivement utilisés par la DIRH et la cellule informatique de la DGH pour le traitement et le stockage des données hydrométriques. Au niveau de la DIRH, cette tâche est assurée par les divisions hydrologiques. L'information stockée concerne :

- les hauteurs d'eau (cours d'eau, barrages, lacs, mares) ;
- la liste des jaugeages dépouillés par station ;
- les courbes d'étalonnage des cours d'eau et de remplissage des retenues.

A l'aide de HYDROM 3.2, à partir des informations ci-dessus saisies, sont calculés les hauteurs d'eau moyennes journalières de chaque station, les débits des cours d'eau (valeurs journalières, mensuelles et annuelles), les volumes stockés dans les retenues d'eau et les débits caractéristiques des cours d'eau (débit maximum annuel instantané, débit annuel minimum instantané, débit caractéristique de crue, débit caractéristique d'étiage, etc). En plus d'HYDROM 3.2, la DIRH dispose de logiciels d'interface et de programmes utilitaires développés dans le cadre du projet EDR volet B (Chaîne CITEG : Chaîne Informatique de Traitement et de Gestion des données hydrométriques) qui lui permettent d'améliorer la qualité des courbes de tarage et d'obtenir des données fiables et de bonne qualité. Après

validation, les données de chaque division hydrologique sont transférées au Service Etudes et Publications de la DIRH. A l'heure actuelle, cette procédure n'est pas suivie et chaque chef de division dispose d'un ordinateur sur lequel il gère les données de son bassin versant. L'ordinateur du SEP de la DIRH ne contient que les données hydrométriques de quelques stations.

L'annexe 11 montre le schéma de la banque centrale de données hydrométriques de la DIRH.

L'annexe 12 montre le schéma de la banque centrale de l'ONEA.

L'annexe 13 montre le schéma de la banque centrale de la DGH

Il est à noter que le logiciel HYDROM 3.2 convient pour le moment au besoin spécifique de stockage des données. Il présente en outre l'avantage d'être utilisé dans la plupart des autres

pays d'Afrique de l'Ouest. Cependant il comporte des insuffisances dans son fonctionnement (gestion de mémoire défectueuse, fichiers d'impression non satisfaisant, peu de convivialité dans les sélections de champs pour extraction, etc.). De plus, HYDROM 3.2 n'est pas évolutif car l'IRD semble avoir arrêté son développement.

Hormis ce stockage décentralisé des données hydrométriques, il n'existe pas d'autres systèmes d'archivage centralisé.

La banque de données hydrométriques du logiciel BEWACO est alimentée à partir des débits moyens mensuels du logiciel HYDROM 3.2. La mise à jour de cette banque par la cellule informatique de la DGH dépend de celle de la DIRH.

De ce diagnostic des réseaux hydrométriques du Burkina Faso d'une manière générale et du bassin versant hydrologique du Nakanbé ss. en particulier, on peut tirer plusieurs enseignements :

- Sur l'ensemble du Burkina Faso la densité des stations hydrométriques (3,7 stations pour 10.000 km²) est satisfaisante selon les normes de l'OMM. Cependant, lorsqu'on descend au niveau des bassins versants nationaux, cette densité devient théoriquement insuffisante (2,4 stations pour 10.000 km² sur le bassin du Mouhoun, 2,7 stations pour 10.000 km² sur le bassin versant du Nakanbé sl. et 1,7 stations pour 10.000 km² sur le bassin versant du Niger). D'une manière générale, sur chaque bassin national, les stations sont concentrées sur une petite zone par rapport à l'ensemble de la superficie du bassin. Ce constat peut s'expliquer par le fait que de nombreuses régions sont encore d'accès assez difficile en saison pluvieuse et par l'évolution du réseau hydrométrique qui suit celle de la construction des grands barrages. La mise en bon état et l'exploitation régulière du réseau hydrométrique doivent permettre de mieux évaluer les quantités des ressources en eau de surface du Burkina Faso. Le nombre de stations devra cependant être augmenté par la créations de nouvelles stations aux nouveaux grands barrages notamment ceux de Yako et de Ziga. Tous les grands barrages doivent être équipés de sites de mesures à leur amont, au niveau de la retenue et à l'aval de la retenue pour évaluer avec plus de précision les ressources en eau de surface.
- En ce qui concerne le cas particulier du bassin versant du Nakanbé ss, son réseau hydrométrique est assez représentatif pour l'évaluation des quantités des eaux de surface mais doit être complété sans délai par l'ouverture d'une station hydrométrique sur le barrage de Yako, l'ouverture et le tarage d'une nouvelle station sur le Nakanbé en aval de Bagré tout juste avant la frontière du Ghana.

3.3 Bilan des ressources en eau de surface

Cette évaluation des quantités des ressources en eau de surface concerne les volumes écoulés des cours d'eau et ceux stockés dans les retenues. Elle sera faite par bassin versant national avec un accent sur le Nakanbé ss. dans le cadre du Projet Pilote Nakanbé (PPN).

3.3.1 Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin du Nakanbé ss.

Le Nakanbé est l'un des principaux affluents du fleuve Volta. Au Burkina Faso, sa superficie est de 81.000 km². Il a pour principaux affluents :

- le bras principal que nous appellerons ici Nakanbé ss. (34.311 km²),
- la Sissili (7. 455 km²),
- le Nazinon (11.214 km²),
- la Pendjari (21.601 km²),
- et la Nouhao (4.050 km²).

3.3.1.1 Evaluation des débits des cours d'eau du Nakanbé ss.

L'évaluation des débits concerne 10 stations hydrométriques pour lesquelles on dispose de séries de débits et à la station fictive de l'exutoire, selon le tableau ci-dessous :

N°	Nom de la station	Données disponibles	Nombre d'années d'observations	Observations
	Nakanbé à Ramsa	1985 à 1998	12	Etalonnage douteux
II	Lac de Bam	1982 à 1996	15	Débits déversés
III	Niésséga	1995 à 1999	4	
IV	Nakanbé à Bissiga	1976 à 1999	23	
V	Massili à Gonsé	1975 à 1999	22	
VI	Nakanbé à Wayen	1955 à 1999	45	
VII	Dougoula Mondi à Komtoéga	1995 à 1999	5	
VIII	Tcherbo à Sanogo	1995 à 1999	5	
IX	Nakanbé à Bagré Aval	Néant	0	Station non étalonnée
X	Nakanbé à l'exutoire	Néant	0	Station fictive

La figure en annexe 8 représente la carte du Nakanbé ss. avec les sous bassins des stations hydrométriques citées ci-dessus.

Pour chacune de ces stations, les débits moyens mensuels et les modules interannuels seront calculés sur une période où les données sont homogènes, issues d'une même population, c'est-à-dire à partir de la date de construction du dernier barrage en amont de la station considérée.

Le tableau ci-dessous indique par station la période de référence retenue et les résultats des calculs :

N°	Nom de la station	Sup (km ²)	Période de référence	Module interannuel (m ³ /s)	Volume annuel écoulé (Mm ³)
01	Nakanbé à Ramsa	3 650	1988 à 1998	3,6	113,5
02	Lac de Bam à Kongoussi	2 573	1988 à 1999	1,04	32,8

03	Gouroubi à Niésséga	1 190	1995 à 1999	0,10	3,15
04	Nakanbé à Bissiga	16 965	1988 à 1999	8,23	259,5
05	Massili à Gonsé	2 175	1975 à 1999	1,70	53,65
06	Nakanbé à Wayen	20 800	1995 à 1999	16,9	533,0
07	Dougoula Mondi à Komtoéga	2 536	1995 à 1999	7,5	236,5
08	Tcherbo à Sanogo	272	1995 à 1999	1,5	47,3
09	Nakanbé à Bagré Aval	33 120	1993 à 1999	33,4	1 053,3
10	Exutoire	34 311	1993 à 1999	0,014	0,4415

Remarques :

- La station du *Nakanbé à Bagré Aval* est située tout juste en aval du barrage de Bagré. Elle contrôle les débits turbinés et déversés du barrage construit en 1993.
- La station du *Nakanbé à l'exutoire* : par exutoire, il faut entendre le croisement du cours d'eau Nakanbé et de la frontière avec le Ghana. C'est cet exutoire qui détermine le bassin versant du Nakanbé ss. Cette station est fictive et les débits seront déterminés par estimation de 1993 à 1999. Ces débits seront constitués des débits moyens mensuels et modules de Bagré Aval auxquels on additionnera les apports du bassin intermédiaire entre le barrage de Bagré et la frontière du Ghana (soit une superficie de 1.191 km²). Les débits du bassin intermédiaire seront calculés à partir de la pluviométrie moyenne mensuelle (des postes de Zabré, Gomboussougou et Pama) et du coefficient d'écoulement estimé à 4,1 % par le projet Bilan d'Eau. Pour la période commune de calculs de 1993 à 1998, on obtient pour ce bassin intermédiaire :
 - débit moyens interannuels dus à la pluie : 0,014 m³/s soit un volume annuel écoulé de 441 504 m³ soit 0,042 % de l'écoulement moyen annuel à l'exutoire.
 - débits turbinés et déversés : 33,4 m³/s soit un volume annuel écoulé de 1.053 Mm³.
 - débit moyen interannuel à l'exutoire : 33,414 m³/s soit un volume annuel écoulé de 1.054 Mm³

3.3.1.2 Evaluation des volumes des retenues du bassin versant du Nakanbé ss.

Les barrages du bassin versant du Nakanbé ss. dont on connaît les caractéristiques ont une capacité totale de stockage supérieure à 2 milliards de m³ (non compris le barrage de Ziga d'une capacité de 200 millions de m³ actuellement en construction).

Vingt-six de ces retenues qui ont une courbe hauteur/volume ont été suivis sur le plan hydrologique et on dispose de données selon le tableau ci-dessous :

N°	Nom de la retenue	Données de volumes mensuels disponibles	Nombre d'années d'observations	Observations
01	Barrage de Napaptenga	Janv. 1983 à déc. 1996	14	Non suivi actuellement
02	Barrage de Nagbangré	Mai 1983 à sept. 1998	16	
03	Barrage de Koubri II	Janv. 1995 à juin 1997	3	Non suivi actuellement
04	Barrage de Wedbila	Mai 1995 à mars 1999	5	
05	Barrage de Ouaga III	Janv. 1984 à déc. 1999	16	
06	Barrage de Tensobtenga	Juillet 1995 à nov 1998	4	Non suivi actuellement
07	Barrage de Itengué	Janv. 1994 à déc. 1999	6	
08	Barrage de Mogtédou	Mai 1983 à déc. 1999	17	
09	Barrage de Louré	Juin 1995 à nov. 1999	5	
10	Barrage de Pibaoré	Janv. 1995 à mars 1998	4	Non suivi actuellement
11	Barrage de Korsimoro	Janv. 1995 à Mai 1998	4	Non suivi actuellement
12	Barrage de Séguénéga	Mai 1995 à janv. 1998	4	Non suivi actuellement
13	Barrage de Titao	Juil. 1989 à fév. 1998	10	Non suivi actuellement
14	Barrage de Syllia	Juil. 1989 à déc. 1997	9	Non suivi actuellement
15	Barrage de Tougou	Oct. 1993 à nov. 1999	7	
16	Barrage de Goinré	Mai 1991 à déc. 1999	9	
17	Barrage de Ouahigouya	Janv. 1985 à déc. 1999	15	
18	Barrage de Koulniéré	Sept. 1989 à nov. 1997	9	Non suivi actuellement
19	Barrage de Louda	Juin 1995 à déc. 1999	5	
20	Barrage de Loumbila	Janv. 1981 à déc. 1999	19	
21	Barrage de Nagréongo	Janv. 1995 à oct. 1997	3	Non suivi actuellement
22	Barrage de Sian	Janv. 1989 à déc. 1999	11	
23	Barrage de Tamassogho	Juil. 1984 à Déc. 1997	14	Non suivi actuellement
24	Barrage de Gha	Juin 1995 à déc. 1997	3	Non suivi actuellement
25	Lac de Bam (Kongoussi)	Janv. 1982 à déc. 1999	18	
26	Barrage de Bagré	Janv. 1993 à déc. 1999	7	

(Il faut noter ici que le barrage de Yako d'un volume estimé à 75 Mm³ n'a pas encore été objet d'un suivi hydrologique). Le volume moyen interannuel stocké par ces retenues suivies est d'environ 1 milliard de m³ soit la moitié du total stockable. Ceci s'explique par le fait que toutes les retenues ne se remplissent pas chaque année et que les eaux stockées sont au fur et à mesure utilisées soit pour l'irrigation, soit pour l'approvisionnement en eau potable ou pour la production d'électricité.

3.3.1.3 *Quantité totale des eaux de surface du bassin versant du Nakanbé ss.*

Bilan estimatif actuel des écoulements de surface

Le tableau ci-dessous indique les modules et les apports par sous bassin versant du Nakanbé ss. :

Nom du sous bassin	Modules (en m ³ /s)	Apports interannuels (en Mm ³)	Observations
I. Ramsa	3,6	114	
II. Lac Bam	1,04	33	Débits déversés
III. Niésséga	0,10	3	
IV. Bissiga	8,33	256	Donne une idée sur les apports au barrage de Yako
V. Gonsé	1,70	54	Bilan après les barrages de Ouaga et de Loumbila
VI. Wayen	16,9	533	Donne une idée sur les apports au barrage de Ziga
VII. Komtoéga	7,5	237	Apports secondaires du B. de Bagré
VIII. Sanogo	1,5	47	Apports secondaires du B. de Bagré
IX. Bagré Aval	33,4	1 053	Débits turbinés et déversés de Bagré
X. Exutoire	33,41	1 054	Débits entrants au Ghana

Bilan estimatif actuel des volumes stockés par les retenues

Les retenues du Nakanbé ss. ont une capacité de stockage d'environ 2 milliards de m³ (non comprise la retenue de Ziga en construction).

L'analyse des volumes moyens et annuels des 26 grandes retenues suivies montre que le volume total annuel moyen retenu par ces barrages est de 0,96 milliard de m³. La capacité totale de stockage de ces 26 retenues étant de 1,8 milliard de m³, on a ainsi un taux de remplissage moyen des retenues du Nakanbé ss égal à 53 %.

Ainsi, les retenues du Nakanbé ss. peuvent stocker 2 milliards de m³, le volume total annuel moyen est de 1,6 milliard de m³. Le volume maximum se situe au mois d'octobre (1,3 milliard de m³) et le volume total annuel minimum se situe au mois de juin (0,52 milliard de m³).

Bilan des eaux de surface du Nakanbé ss.

En faisant la somme des volumes retenus (1,6 milliard de m³) et ceux écoulés à l'exutoire (1,05 milliard de m³), on obtient un potentiel annuel moyen en eau de surface de 2,7 milliards de m³ pour le bassin versant du Nakanbé ss.

Recommandations pour une meilleure évaluation des quantités en eau de surface du Nakanbé ss.

Le document "Politique et stratégies en matière d'eau" édité par le Ministère de l'Environnement et de l'Eau en juillet 1998 donne 39.38 m³/s comme débit moyen correspondant à des apports annuels de 1,242 milliard de m³ à la sortie du Nakanbé ss. du

territoire. La présente étude trouve un débit moyen de 33,41 m³/s correspondant à des apports de 1,054 milliard de m³. La différence est certainement due à la construction de nouveaux barrages sur le bassin car ce même document donnait 35.317 ha comme superficie totale des plan d'eau et selon notre étude cette superficie dépasse actuellement 43.640 ha.

Les apports du sous bassin versant intermédiaire entre le barrage de Bagré et l'exutoire ont été estimés à 441,504 m³, soit 0,042 % de l'écoulement moyen annuel à l'exutoire qui est de 1,054 milliard de m³.

Pour une meilleure évaluation des ressources en eau de surface du Nakanbé ss., il est nécessaire et indispensable d'abord de mettre en bon état et d'exploiter régulièrement le réseau hydrométrique actuel, ensuite de créer et exploiter des stations hydrométriques au barrage de Yako et à l'aval du barrage de Bagré, et de suivre le barrage de Ziga dès sa mise en eau.

3.3.2 Evaluation des quantités des eaux de surface du Nakanbé sl.

La figure en annexe 8 représente la carte du bassin versant du Nakanbé sl..

3.3.2.1 Evaluation des débits des cours d'eau

En plus des stations hydrométriques du Nakanbé ss, le Nakanbé sl. (81.000km²) comprend les stations des affluents Nazinon (11.200 km²), Sissili (7.450 km²), Pendjari (21.600 km² avec ses affluents Doudodo, Singou et Kouléologo) et de la Nouhao (4.050 km²).

Pour l'évaluation des débits des cours d'eau du Nakanbé sl., nous ajouterons à ceux du Nakanbé ss. les débits des affluents selon le tableau qui suit :

Affluents	Nom de la station	Sup (en km ²)	Données de débits mensuels disponibles	Nbre d'an. d'observ.	Observations
Nazinon	Sakoinsé	1 210	Janv. 1979 à mai 1992	14	Station fermée
	Dakaye	4 540	Janv. 1982 à déc. 1999	18	
	Nobéré	7 600	Mai 1975 à déc. 1999	25	
	Ziou	--	--	--	
Sissili	Nebbou	3 240	Juil. 1974 à oct. 1999	26	
	Kounou	6 120	--	--	

Affluents	Nom de la station	Sup (en km ²)	Données de débits mensuels disponibles	Nbre d'an. d'observ.	Observations
Pendjary	Arly	10 260	Août 1977 à déc. 1987	11	
<i>Doudodo</i>	Arly	6 050	Août 1977 à déc. 1987	11	
<i>Koulpéologo</i>	Tagou	5 500	Mai 1982 à août 1988	7	
	Barrage de Kompienga	6 840	Fév. 1995 à janv. 1999	5	
<i>Singou</i>	Samboali	4 560	--	--	
Nouhao	Bittou	4 050	Mai 1974 à déc. 1999	26	

Pour chacune de ces stations, les débits moyens mensuels et les modules interannuels ont été calculés sur une période où les données sont homogènes, issues d'une même population, c'est-à-dire à partir de la date de construction du dernier barrage à son amont.

Le tableau ci-dessous indique par station la période de référence retenue et les résultats des calculs :

N°	Nom de la station	Période de référence	Module interannuel (m ³ /s)	Volume annuel écoulé (Mm ³)
01	Nazinon à Sakoinzé	1979 à 1992	0,80	22
02	Nazinon à Dakaye	1980 à 1999	3,91	123
03	Sissili à Nebbou	1975 à 1999	2,11	67
04	Pendjary à Arly	1974 à 1999	12,0	378
05	Doudodo à Arly	1983 à 1988	14,5	457
06	Koulpéologo à Tagou	1982 à 1988	13,1	413
07	Barrage Kompienga	1995 à 1999	18,1	571
08	Singou à Samboali	1974 à 1998	2,0	63
	Nouhao à Bitou	1980 à 1998	7,59	239

3.3.2.2 Evaluation des volumes des retenues du Nakanbé sl.

Les retenues existantes sur le Nakanbé sl. dont on connaît les caractéristiques ont une capacité de stockage totale supérieure à 4,03 milliards de m³ (non comprise la retenue de Ziga en construction).

Vingt-sept de ces retenues possédant une courbe hauteur/volume sont suivies sur le plan hydrologique dont vingt-six sur le Nakanbé ss.

(Il faut noter ici que le barrage de Yako n'a pas encore été objet d'un suivi hydrologique). Le volume moyen interannuel stocké par ces retenues suivies est d'environ 2,041 milliards de m³ soit la moitié du total mobilisable. Ceci s'explique par le fait que toutes les retenues ne se remplissent pas chaque année et les eaux stockées sont au fur et à mesure utilisées soit pour l'irrigation, soit pour l'approvisionnement en eau potable ou pour la production d'électricité.

3.3.2.3 Quantité totale des eaux de surface du Nakanbé sl.

Bilan estimatif actuel des écoulements de surface

Le tableau ci-dessous récapitule les modules et les apports par sous bassins versant du Nakanbé sl. :

Nom du sous bassin	Modules (en m ³ /s)	Apports interannuels (en Mm ³)	Observations
		<i>Nakanbé ss.</i>	
I. Ramsa	3,60	114	
II. Lac Bam	1,04	33	Débits déversés
III. Niésséga	0,10	3	
IV. Bissiga	8,33	256	Donne une idée sur les apports au barrage de Yako
V. Gonsé	1,70	54	Bilan après les barrages de Ouaga et de Loumbila
VI. Wayen	16,9	533	Donne une idée sur les apports au barrage de Ziga
VII. Komtoéga	7,50	237	Apports secondaires du B. de Bagré

Nom du sous bassin	Modules (en m ³ /s)	Apports interannuels (en Mm ³)	Observations
VIII. Sanogo	1,5	47	Apports secondaires du B. de Bagré
IX. Bagré Aval	33,4	1 053	Débits turbinés et déversés de Bagré
X. Exutoire	33,41	1 054	Débits entrants au Ghana
		<i>Affluent Nazinon</i>	
Nazinon à Sakoinsé	0,80	25	
Nazinon à Dakaye	3,91	123	
Nazinon à Nobéré	6,04	190	Débits sortant du Burkina
		<i>Affluent Sissili</i>	
Sissili à Nebbou	2,11	67	Débits sortants du Burkina
Sissili à Kounou	--	--	
Singou à Samboali	2,00	63	
		<i>Affluent Nouhao</i>	
Nouhao à Bittou	7,59	239	
		<i>Affluent Pendjary</i>	
Pendjary à Arly	12,0	378	
Doudodo à Arly	14,5	457	
Koulpéologo à Tagou	13,1	413	
Koulpéologo au barrage de la Kompienga	18,1	571	Débits turbinés

On peut alors estimer les débits et les apports à la sortie du territoire burkinabé en faisant la somme des débits du Nakanbé ss., du Nazinon, de la Sissili, de la Pendjary et de la Nouhao. Le tableau qui suit résume ces valeurs qui sont comparées à celles publiées dans le document intitulé "Politique et stratégie en matière d'eau" :

Nom du sous bassin	Module (en m ³ /s)	Apports du sous bassin (en Mm ³)	Module donné par le document du MEE (en m ³ /s)	Apports donnés par le document du MEE (en Mm ³)
Nakanbé ss.	33,4	1 054	39,38	1 242
Nazinon	6,04	190	5,65	178.0
Sissili	2,11	67	1,40	44.0

Pendjary et ses affluents	28,5	899	20,10	634.0
Nouhao	7,59	239	--	--
Total pour le Nakanbé sl.	77,64	2 444	66,53	2 099

Bilan estimatif actuel des volumes stockés par les retenues

Le taux de remplissage annuel moyen des barrages du Nakanbé étant de 53 %, les 596 retenues du Nakanbé qui ont une capacité totale de stockage d'environ 4,31 milliards de m³ emmagasineront en moyenne chaque année 2,2 milliards de m³.

Les grandes retenues suivies (non comprise la retenue de Ziga en construction) ont une capacité totale de stockage annuel moyen de 1,1 milliard de m³ ; le volume total annuel maximum se situe au mois d'octobre (1,3 milliard de m³) et le volume total annuel minimum se situe au mois de juin (0,52 milliard de m³).

Bilan des eaux de surface du Nakanbé sl.

En faisant la somme des volumes retenus (2,2 milliards de m³) et des ceux écoulés à la sortie du Burkina Faso (2,4 milliards de m³), on obtient un potentiel annuel moyen en eau de surface de 4,6 milliards de m³ pour le bassin versant du Nakanbé sl.

Recommandations pour une meilleure évaluation des quantités en eau de surface du Nakanbé sl.

En plus des recommandations faites pour le Nakanbé ss., pour mieux évaluer les quantités en eau de surface du Nakanbé sl., il est nécessaire de remettre en bon état et d'exploiter sans discontinuité les stations hydrométriques de la Nouhao à Bittou, de la Sissili à kounou, du Singou à Samboali et du Nazinon à Ziou.

3.3.3 Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin de la Comoé

La Comoé est un des grands fleuves d'Afrique Occidentale. La superficie totale de son bassin versant à l'embouchure est de 76.500 km² s'étendant sur le Mali (5.110 km²), le Burkina Faso (18.326 km²) et la Côte-d'Ivoire (63.064 km²).

La portion burkinabé de ce bassin est répartie sur les provinces de la Comoé, de la Léraba, du Houet, du Kéné Dougou et du Poni. Elle comprend 5 sous-bassins qui sont :

- La Léraba (5.024 km²), cours d'eau pérenne.
- La Comoé (9.800 km²), cours d'eau pérenne.
- Le Kodoun (1.117 km²), cours d'eau temporaire.
- Le Baoué (1.555 km²), cours d'eau temporaire.

- L'Iringou (830 km²), cours d'eau temporaire.

Sur le plan morphologique le nord du bassin, qui représente 10 % de sa superficie, a une altitude comprise entre 400 et 749 m. C'est dans cette partie que se trouvent les falaises de Banfora à l'Est et les formations montagneuses du mont Téna Kourou, point culminant du Burkina Faso. La partie Sud, constituée d'une vaste plaine, présente un relief plus monotone: la pente moyenne est faible (0,70 m/km) et l'altitude est généralement inférieure à 400 m.

Sur le plan climatique la région est soumise à un climat tropical caractérisé essentiellement par deux saisons bien marquées: une saison sèche de novembre à juin et une saison pluvieuse de juillet à octobre. La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 1.100 et 1.300 mm, avec des écarts qui peuvent atteindre 300 mm, d'une zone à l'autre.

3.3.3.1 Evaluation des débits des cours d'eau de la Comoé

L'évaluation des débits sur les stations hydrométriques de base de mesures de débits sur rivières sera faite par sous bassin selon le tableau ci-dessous :

Affluents	Nom de la station	Surf (en km ²)	Données de débits mensuels disponibles	Nbre d'an. d'observ.	Observations
Comoé	Koba à Samogohiri	--	Juin 1996 à déc. 1997	2	Principal apport en étiage du barrage de Moussodougou
	Comoé à Karfiguéla Rad	812	Avr. 1976 à août 1998	23	Contrôle du reste des débits de la Comoé après prélèvements
	Comoé à Diarabakoko	2 350	Juin 1955 à déc. 1999	45	Contrôle du reste des débits de la Comoé et du Yannon
	Comoé à Folonzo	9 480	Avril 1969 à déc. 1999	31	Station la plus en aval sur la Comoé
	Léraba à Douna	825	Janv. 1975 à déc. 1998	24	Contrôle du reste des débits de la Léraba Orientale aval barrage

Léraba	Léraba Oc. à Fourkoura	2 550	Sept. 1974 à déc. 1998	25	Contrôle les débits de la Léraba Occidentale
	Léraba à Yendéré	5930	Juin 1955 à déc. 1999	45	Station la plus en aval sur la Léraba

Pour chacune de ces stations, les débits moyens mensuels et les modules interannuels ont été calculés sur une période où les données sont homogènes, issues d'une même population, c'est-à-dire à partir de la date de construction du dernier barrage à son amont.

Le tableau ci-dessous indique par station la période de référence retenue et les résultats des calculs :

N°	Nom de la station	Période de référence	Module interannuel (m ³ /s)	Volume annuel écoulé (Mm ³)
01	Koba à Samogohiri	1996 à 1997	0,84	25
02	Comoé à K. Radier	1992 à 1998	1,22	39
03	Comoé à Diarabakoko	1992 à 1998	5,32	168
04	Comoé à Folonzo	1992 à 1999	14,1	445
05	Léraba Or. À Douna	1988 à 1998	0,54	17
06	Léraba Oc.à Fourk	1974 à 1998	11,8	372
07	Léraba à Yendéré	1988 à 1999	28,8	908

En ce qui concerne les sous bassins du Kodoun, du Baoué et de l'Iringou qui n'ont été l'objet d'aucun suivi hydrométrique, sur lesquels il n'existe pas de retenues d'eau, et qui sont très peu peuplés, donc peu influencés, les modules seront estimés en considérant une pluie moyenne annuelle de 1.000 mm et un coefficient de ruissellement de 5 % pour le Kodoun, 5 % pour le Baoué et 8 % pour l'Iringou d'après les résultats du Projet Bilan d'Eau en 1991.

On obtient ainsi les modules et les volumes écoulés interannuels suivants :

- Sous bassin du Kodoun : avec une superficie de 1.117 km², le module interannuel est de 1,80 m³/s correspondant à un volume annuel moyen écoulé de 57 Mm³.
- Sous bassin du Baoué : avec une superficie de 1.555 km², le module interannuel est de 2,50 m³/s correspondant à un volume annuel moyen écoulé de 79 Mm³.
- Sous bassin de l'Iringou: avec une superficie de 830 km², le module interannuel est de 2,11 m³/s correspondant à un volume annuel moyen écoulé de 67 Mm³.

3.3.3.2 Evaluation des volumes des retenues du bassin versant de la Comoé

Vingt-sept barrages et vingt lacs ont été répertoriés sur le bassin de la Comoé. Le tableau ci-dessous donne leur répartition par sous bassin :

Sous bassin	Barrages		lacs		Capacité totale (Mm ³)
	Nombre	Capacité (Mm ³)	Nombre	Capacité (Mm ³)	
Comoé	10	56	15	6,3	62,3
Léraba	17	52	5	0,3	52,3
Kodoun	0	0	0	0	0
Baoué	0	0	0	0	0
Iringou	0	0	0	0	0
Total	27	108	20	6,6	114,6

Quatre de ces retenues sont suivies sur le plan hydrologique.

Le volume moyen interannuel stocké par ces retenues suivies est d'environ 56,8 Mm³ soit 50 % du volume total de toutes les retenues du bassin versant.

3.3.3.3 Quantité totale des eaux de surface de la Comoé

Bilan estimatif actuel des écoulements de surface

A partir des modules et des apports interannuels estimés, on peut évaluer les débits et les apports à la sortie du territoire burkinabé. Ces débits sont la somme de ceux de la Comoé à Folonzo, de la Léraba à Yendéré, des sous bassins du Kodoun, du Baoué et de l'Iringou. Le tableau ci-dessous résume ces valeurs qui sont comparées à celles publiées dans le document "Politique et stratégie en matière d'eau" du MEE :

Nom du sous bassin	Module (en m ³ /s)	Apports du sous bassin (en Mm ³)	Module donné par le document du MEE (en m ³ /s)	Apports donnés par le document du MEE (en Mm ³)
Comoé à Folonzo	14,1	445	18,0	568
Léraba à Yendéré	28,8	908	20,8	656
Kodoun	1,80	57	-	-
Baoué	2,50	79	-	-
Iringou	2,11	67	-	-
Total du bassin versant de la Comoé	49,31	1 556	38,8	1 224

Bilan estimatif actuel des volumes stockés par les retenues

Les 27 barrages et les 20 lacs de la Comoé ont une capacité de stockage d'environ 0,1146 milliard de m³. Avec un taux de remplissage moyen annuel de 74 %, (calculé à partir des retenues suivies sur le bassin de la Comoé), les barrages retiennent en moyenne chaque année un volume de 0,085 milliard de m³.

Bilan des eaux de surface de la Comoé

En faisant la somme des volumes retenus (0,085 milliard de m³) et ceux écoulés à la sortie du Burkina Faso (1,6 milliard de m³), on obtient un potentiel annuel moyen en eau de surface de 1,64 milliard de m³ pour le bassin versant de la Comoé.

Recommandations pour une meilleure évaluation des quantités en eau de surface de la Comoé

L'état du réseau de suivi doit être amélioré par l'installation d'échelles normales centimétriques OTT au barrage de la Lobi à Bodadiougou où existent encore des échelles artisanales, par la réouverture de la station hydrométrique du barrage de Loumana et par l'ouverture d'une nouvelle station à Boulon sur l'important affluent nommé Sinlo de la Comoé.

3.3.4 Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin du Mouhoun

Le Mouhoun, principal affluent du fleuve Volta, a une superficie totale de 91.000 km² au Burkina Faso. Ses principaux affluents sont le Poni, la Bougouriba, le Grand Balé, le Vranso, le Sourou, le Voun Hou et le Kou. Son bassin versant peut être subdivisé en trois parties :

- le Mouhoun supérieur (19.470 km²) qui va des sources à la confluence avec le Sourou avec pour principaux affluents la Plandi, le Kou et le Voun Hou.
- le Sourou (15.200 km²). A l'état naturel, lors des crues, le Mouhoun alimentait le Sourou dont le cours s'inversait en raison de sa pente extrêmement faible, et à la décrue, le Sourou reprenait son sens d'écoulement normal et alimentait le Mouhoun. Depuis 1984, les ouvrages de dérivation et de contrôle installés à l'amont de la confluence du Sourou et du Mouhoun au village de Léry permettent de stocker 250 millions de m³ dérivés des crues d'hivernage du Mouhoun dans la dépression du Sourou et de restituer le surplus dans le cours aval du Mouhoun pendant la saison sèche. Dans cette dépression de grands aménagements irrigués se développent.
- le Mouhoun inférieur qui va du Sourou à la frontière avec le Ghana.

3.3.4.1 Evaluation des débits des cours d'eau

L'évaluation des débits sur les stations hydrométriques de base de mesures de débits sur rivières sera faite par sous bassin selon le tableau ci-dessous :

Affluents	Nom de la station	Surf. (en km ²)	Données de débits mensuels disponibles	Nbre d'an. d'observ.	Observations
<i>Kou</i>	Badara	971	1984 à 1997	14	
	Confl. Niamé- Baoulé	1 524	1986 à 1998	13	
<i>Plandi</i>	Lanvièra	1 100	1974 à 1998	25	
<i>Mouhoun</i>	Guéna	8 00	1962 à 1995	34	
	Banzo	2 816	1959 à 1997	39	
	Samandéni	4 580	1955 à 1999	45	
<i>Vranso</i>	Ninion	1 890	1971 à 1999	29	
<i>Vranso</i>	Poun	--	1977 à 1977	1	
<i>Mouhoun</i>	Nwokuy	14 800	1955 à 1999	45	
<i>Sourou</i>	Léry Nord	11 000	1955 à 1999	45	
	Léry Sud	--	1955 à 1989	35	
<i>Mouhoun</i>	Manimenso	20 000	1955 à 1999	45	
	Tenado	23 700	1976 à 1999	24	
	Boromo	37 140	1955 à 1999	45	
<i>Grand Balé</i>	Pa	3 510	1976 à 1999	24	
<i>Bougouriba</i>	Dan	6 345	1970 à 1997	28	
	Diébougou	12 200	1980 à 1997	18	
<i>Bambassou</i>	Batié	5 630	1971 à 1998	28	
<i>Mouhoun</i>	Ouessa	50 820	1969 à 1998	30	
	Dapola	66 540	1955 à 1999	45	
	Noumbiel	79 700	1975 à 1998	24	

Pour chacune de ces stations, les débits moyens mensuels et les modules interannuels ont été calculés sur une période où les données sont homogènes, issues d'une même population, c'est-à-dire à partir de la date de construction du dernier barrage à son amont.

Pour le calcul des débits moyens mensuels, des modules et des volumes écoulés interannuels, les périodes suivantes seront utilisées :

- stations hydrométriques du Kou à Badara et à la confluence Niamé-Baoulé : de 1971 à nos jours car la plaine de la vallée du Kou a été aménagée en 1970 ;
- stations hydrométriques de Guéna, de Lanvièra et de Ninion : toute les séries disponibles ;
- stations hydrométriques de la Bougouriba, de la Bambassou et du Grand Balé : toute les séries disponibles ;
- stations de Banzon, Samandéni et Nwokuy : 1982 à nos jours car la plaine de Banzon en amont a été aménagée en 1981 ;
- stations hydrométriques de Léry, de Manimenso, Tenado, Boromo, Ouessa, Dapola et Noubiel : de 1985 à nos jours car le Mouhoun a été dévié dans le Sourou à partir de 1984.

3.3.4.2 Evaluation des volumes des retenues

Les retenues existantes sur le bassin versant du Mouhoun ont une capacité de stockage totale supérieure à 438,613 millions de m³ (non comprise la retenue de Samandéni en projet dont le volume serait de l'ordre de 500 millions de m³).

Une seule de ces retenues, celle du Sourou à Yaran, est suivie par la DIRH sur le plan hydrologique. Sa capacité est de 250 millions de m³.

3.3.4.3 Quantités des eaux de surface du Mouhoun

Bilan estimatif actuel des écoulements de surface

On peut évaluer les apports à la sortie du territoire burkinabé en faisant la somme des apports du Mouhoun à Ouessa, de la Bougouriba et de la Bamabassou (des données n'étant pas disponibles sur le Poni). Pour les apports des affluents de la Bougouriba d'une superficie totale de 16.425 km² et de la Bambassou d'une superficie totale de 7.632 km², nous considérerons les valeurs données par le "Diagnostic des ressources en eau dans le bassin du Mouhoun inférieur" publiées par le programme RESO publié en juin 1998.

Le tableau ci-dessous résume ces valeurs qui sont comparées à celles publiées dans le document "Politique et stratégie en matière d'eau" du MEE :

Nom du sous bassin	Module (en m ³ /s)	Apports du sous bassin (en Mm ³)	Module donné par le document du MEE (en m ³ /s)	Apports donnés par le document du MEE (en Mm ³)
Mouhoun à Ouessa	43,0	1 356	--	--

Sous bassin Bougouriba	28,0	884	--	--
Sous bassin Bambassou	12,9	405	--	--
Poni	--	--	--	--
Total Mouhoun	83,9	2 646	93.78	2 957

Il est à noter qu'à la station du Mouhoun à Noubiel, plus grande station burkinabé faisant frontière avec le Ghana, nous avons actuellement un module interannuel de 116 m³/s correspondant à un volume écoulé interannuel de 3,7 milliards de m³ (une partie des apports à Noubiel provient du Ghana. Cet apport des écoulements de la portion du bassin d'une superficie de 12 000 km² en territoire ghanéen est estimé à 623 millions de m³ soit plus de 62 % des apports à Noubiel. Les affluents burkinabè du Poni et du Pouéné contribuent pour environ 38 %).

Bilan estimatif actuel des volumes stockés par les retenues

Les retenues dont les caractéristiques sont connues ont une capacité totale supérieure à 439 millions de m³ couvrant une superficie de 14.584 ha. Avec un taux de remplissage moyen annuel de 65 %, (calculé à partir des données du barrage du Sourou à Yaran), les barrages retiennent en moyenne chaque année un volume de 285 millions de m³.

Bilan des eaux de surface du Mouhoun

En faisant la somme des volumes retenus (0.285 milliard de m³) ceux écoulés à la sortie du Burkina Faso (2,7 milliard de m³), on obtient un potentiel annuel moyen en eau de surface de 3.0 milliards de m³ pour le Mouhoun.

Recommandations pour une meilleure évaluation des quantités en eau de surface du Mouhoun

La mise en bon état du réseau de mesures hydrométriques et son suivi régulier et continu demeurent la condition pour une meilleure évaluation des ressources en eau de surface. Dès sa construction, le barrage de Samandéni devra être suivi sur le plan hydrologique car il contribuera à la régulation des débits entrant dans l'important barrage du Sourou. Il en va de même du barrage de Diébougou qui avait été prévu par la SONABEL et dont le projet est actuellement en suspens.

3.3.5 Evaluation des quantités des eaux de surface du bassin du Niger

Le bassin versant du Niger au Burkina Faso, d'une superficie totale de 83.162 km², se compose de deux parties :

- le bassin versant du Banifing, affluent du Bani qui est lui même un des affluents majeurs du fleuve Niger. Ce bassin est situé à l'Ouest du pays où la pluviométrie moyenne interannuelle est évaluée à 950 mm. D'une superficie totale de 4.967 km², le bassin du Banifing est drainé au Sud par le Sélédogo et le Sangoué et à l'Est par une multitude de rivières (Dougo, Konga, Dougbè) dont la confluence forme le Sésé. Le Tessé ou Longo, principal affluent, reçoit les cours d'eau du Sud, conflue avec le N'Gorlaka qui constitue la frontière avec le Mali sur une centaine de kilomètres.

- le bassin des affluents de rive droite du fleuve Niger au Nord du pays d'une superficie de 78.195 km². Les bassins de ces affluents burkinabé du Niger occupent tout le tiers nord et est du pays. Ils peuvent être subdivisés en deux groupes :
 - les affluents les plus septentrionaux qui sont le Béli, le Gorouol, le Goudébo et le Dargol couvrent une superficie de 26.250 km² ; ils sont en grande partie endoréiques³ mais peuvent provoquer des crues ponctuelles importantes.
 - les affluents soudano-sahéliens que sont la Faga, la Sirba, la Bonsoaga, la Diamangou et la Tapoa couvrent une superficie de 51.945 km² ; ils ont des régimes un peu moins irréguliers et contribuent à la crue soudanienne du fleuve Niger qui se produit en septembre.

3.3.5.1 Evaluation des débits des cours d'eau

L'évaluation des débits sur les stations hydrométriques de base de mesures de débits sur rivières sera faite par sous bassin selon le tableau ci-dessous :

Affluents	Nom de la station	Surf. (en km ²)	Données de débits mensuels disponibles	Nombre d'années d'observations	Observations
<i>Béli</i>	Tin Akof	2 360	1968 à 1992	25	
<i>Gorouol</i>	Koriziéna	2 500	1970 à 1999	30	
<i>Yali</i>	Sebba	2 280	1981 à 1997	17	
<i>Faga</i>	Liptougou	15 900	1973 à 1999	27	
<i>Manni</i>	Manni	5 000	1973 à 1997	25	Affluent de la Faga
<i>Sirba</i>	Bilanaga	3 451	1974 à 1990	17	Station fermée
	Bosségal	9 920	1973 à 1998	26	

³ Dont l'écoulement se perd dans une cuvette ou sur un relief extrêmement plat, par infiltration et par évaporation.

Affluents	Nom de la station	Surf. (en km ²)	Données de débits mensuels disponibles	Nombre d'années d'observations	Observations
<i>Bonsoaga</i>	Dagou	5 892	1986 à 1998	13	
<i>Diamangou</i>	Botou	2 994	1980 à 1998	19	
<i>Dougo</i>	Dingasso	158	--	--	

3.3.5.2 Evaluation des volumes des retenues du Niger

Les retenues existantes sur le bassin versant du Niger ont une capacité totale de stockage de 239,5 millions de m³ et couvrent une superficie de 15.542 ha.

Huit de ces retenues sont suivies sur le plan hydrologique.

Le volume moyen interannuel stocké par ces retenues suivies est d'environ 53 Mm³, soit 22,3 % du volume total de toutes les retenues du bassin versant.

3.3.5.3 Quantité totale des eaux de surface du Niger

Bilan des eaux d'écoulement du bassin du Niger

A partir des données existantes, il est difficile d'évaluer ici avec précision les débits et les apports à la sortie du territoire burkinabé car de nombreux affluents n'ont pas de mesures permettant d'apprécier leurs apports. Néanmoins, nous donnerons une idée de ces apports à partir des principaux affluents qui sont: le Béli, le Gorouol, le yali, la Faga, la Sirba, le Bonsoaga et la Diamangou.

Le tableau ci-dessous résume ces valeurs qui sont comparées à celles publiées dans le document "Politique et stratégie en matière d'eau" du MEE :

Nom du sous bassin	Module (en m ³ /s)	Apports du sous bassin (en Mm ³)	Module donné par le document du MEE (en m ³ /s)	Apports donnés par le document du MEE (en Mm ³)
Béli à Tin Akof	2,28	72	--	
Gorouol à Koriziéna	2,82	89	--	
Yali à Sebba	1,32	42	--	
Faga à Liptougou	12,5	394	--	
Sirba à Bosségal	3,14	99	--	
Bonsoaga à Dagou	2,75	87	--	
Diamangou à Botou	1,68	53	--	
Sous bassin Banifing	0,92	29	---	
Total du bassin du Niger	27,41	865	--	1 375

Les valeurs du bassin versant du Banifing proviennent de l'étude "Diagnostic des ressources en eau dans le bassin du Banifing", publiée par le programme RESO en juin 1998. Ces résultats ont été obtenus des diverses études hydrologiques dont le bassin a été l'objet, notamment celles menées sur les plaines de Niéna-Dionkélé et de Foullasso-Lelasso en 1974-76 et 1981-1983.

Bilan estimatif actuel des volumes stockés par les retenues du Niger

Les retenues existantes sur le bassin versant du Niger dont on connaît les caractéristiques ont une capacité de stockage d'environ 239,5 millions de m³. Avec un taux de remplissage moyen annuel de 51 % (calculé à partir des retenues suivies sur le bassin du Niger), les barrages retiennent en moyenne chaque année un volume de 0,122 milliard de m³.

Bilan des eaux de surface du bassin du Niger

En faisant la somme des volumes retenus (0,122 milliard de m³), et ceux écoulés à la sortie du Burkina Faso (0,865 milliard de m³), on obtient un potentiel annuel moyen en eau de surface de 1 milliard de m³ pour le bassin versant du Niger.

Recommandations pour une meilleure évaluation des quantités en eau de surface du Niger

La mise en bon état du réseau hydrométrique et son exploitation régulière et continue demeurent les conditions indispensables pour une meilleure évaluation des eaux de surface. La station hydrométrique du Goudébo à Falangountou doit être étalonnée. Il serait intéressant de déterminer par bathymétrie les courbes hauteur/volume des mares de Dori et de Higa afin d'y évaluer les volumes stockés. Une station hydrométrique de mesures de débits pourrait être installée sur la Tapoa pour évaluer les débits sortants du Burkina Faso.

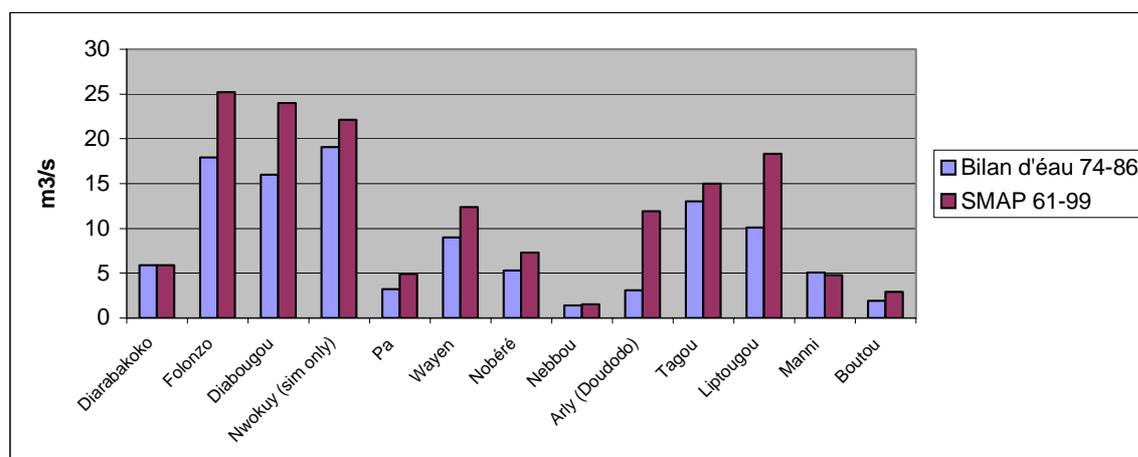
3.4 La modélisation des ressources en eau de surface

Un problème de l'évaluation des ressources en eau de surface est d'une part la discontinuité de certaines séries de données existantes ou l'absence de données pour certains bassins, et d'autre part la logistique lourde et les coûts inhérents des campagnes d'acquisition de ces données.

Dans le cadre du Programme GIRE, on a abordé une autre méthode d'évaluation des ressources basée sur la mise en œuvre d'un modèle mathématique pluie-débits : le modèle SMAP. Il s'agit d'un modèle hydrologique à réservoirs simplifiés qui permet la transformation des pluies en débits à partir des caractéristiques physiographiques du bassin.

Le fonctionnement du modèle, son calage, l'approche pour obtenir des séries de débits dite "étendues" à partir des séries mesurées et les résultats détaillés figurent dans un tome distinct qui est considéré comme une annexe de ce rapport R1.1. On présente ici uniquement les résultats principaux obtenus par la modélisation, sans entrer dans le détail qui se trouve dans ce tome annexe.

En utilisant les séries "étendues", les débits moyens pendant la période 1961-99 ont été calculés et comparés aux valeurs moyennes de débits résultant de l'étude Bilan de d'eau, voir la figure ci-dessous.



Comparaison entre les débits moyens calculés dans l'étude de Bilan d'Eau, en utilisant la période relativement sèche de 1974-86, et les séries "étendues" des débits résultant du modèle SMAP.

Les valeurs basées sur SMAP sont en moyenne 40 % plus élevés que celles de Bilan d'Eau. Cet écart est principalement dues aux différences dans les précipitations pendant les périodes prise en compte (1974 - 1986 respectivement 1961 - 1999), les décennies 1960 et 1990 ayant été plus humides que les décennies 1970 et 1980.

Le tableau ci-dessous présente la pluviométrie annuelle pour les bassins versants ainsi que les débits moyens y résultants modélisés par SMAP. On voit que le volume des débits excède rarement 10 % du volume des précipitations.

Station	Surface BV km ²	Pluie annuelle mm	Lame annuelle mm	Lame %
Diébougou	12200	1009	62	6,1
Nwokuy	14800	957	60	6,3
Pa	3510	880	44	5,0
Ninion	1890	698	35	5,0
Wayen	15868	654	25	3,8
Kongoussi	2500	560	41	7,3
Loumbila	2120	753	27	3,6
Bittou	4050	843	88	10,4
Doudodo	6050	842	62	7,4
Nebbou	3240	891	15	1,7
Nobéré	6390	846	30	3,6
Tagou	7600	843	62	7,4
Bosségal	9920	698	17	2,5
Botou	2994	741	31	4,2
Dagou	5892	771	20	2,6

Station	Surface BV km ²	Pluie annuelle mm	Lame annuelle mm	Lame %
Koriziéna	2500	387	44	11,3
Liptougou	15900	545	36	6,7
Manni	5000	598	30	5,1
Diarabakoko	2350	1085	79	7,3
Folonzo	9480	1094	55	5,1
Yendéré	5930	1110	115	10,4
Fourkoura	2550	1116	126	11,3

La pluviométrie annuelle moyenne et l'écoulement pour les bassins modélisés

On peut constater dans le tome annexe que pour les périodes où l'on dispose de données mesurées, la superposition avec les données modélisées est tout à fait acceptable, ce qui fait de la modélisation avec SMAP, facile à mettre en œuvre, un outil de choix pour l'amélioration de l'évaluation des ressources en eau de surface. SMAP peut également être utilisé pour évaluer les débits de sous bassins où on n'a aucune donnée mesurée. Les conditions physiographiques du Burkina Faso étant assez homogènes, on peut modéliser de tels sous bassins en tenant compte de leur superficie et en appliquant les paramètres d'un bassin voisin qui a été modélisé sur base de mesures réelles.

3.5 Conclusion sur l'évaluation des quantités en eau de surface

A l'exception de la Comoé et du Mouhoun, les autres cours d'eau du Burkina Faso ont un caractère temporaire. Cependant, les écoulements du Nakanbé à l'aval des barrages hydroélectriques de la Kompienga et de Bagré sont devenus pérennes à cause des débits turbinés.

L'écoulement des eaux de surface est estimé actuellement à 7,6 milliards de m³ et le volume total annuel stocké est de l'ordre de 2,68 milliards de m³. La superficie couverte par ces retenues est de près de 100.000 ha.

Le Burkina Faso a donc un potentiel annuel moyen de 10.2 milliards de m³ en eau de surface.

Le tableau qui suit donne les débits moyens et les apports annuels actuels à la confluence ou à la sortie du territoire pour les parties des bassins versants sur le territoire burkinabé :

Bassin	Superficie en	Débits moyens	Apports annuels actuels à la
--------	---------------	---------------	------------------------------

national	% du Burkina Faso	interannuels actuels (m ³ /s)	confluence ou à la sortie du territoire burkinabé (Mm ³)
Comoé	7	49,3	1 556
Nakanbé	30	77,6	2 444
Mouhoun	36	83,9	2 646
Niger	27	27,4	865
Total	100	238	7 511

Le document "Politique et stratégies en matière d'eau" du MEE (juillet 1998) évaluait le total des apports annuels en eau de surface du Burkina Faso à 7,654 Mm³ calculé sur la période sèche de 1974 à 1985. La valeur actuelle est due à l'impact des ouvrages de mobilisation des eaux de surface construits de 1985 à nos jours.

Le Nakanbé ss. seul a un débit moyen annuel actuel de 33,4 m³/s correspondant à des apports de 1.054 millions de m³, soit 14 % du total des eaux d'écoulement de surface sortant du Burkina Faso.

Le tableau ci-dessous résume le potentiel en eau de surface de chaque bassin national du Burkina Faso :

Nom du bassin national	Apports annuels à la confluence ou à la sortie du territoire (en milliards de m ³)	Volume retenu (en milliards de m ³)	Potentiel du bassin (en milliards de m ³)
Comoé	1,6	0,09	1,6
Mouhoun	2,7	0,29	3,1
Nakanbé	2,4	2,20	4,6
Niger	0,9	0,10	1,0
Total	7,6	2,68	10,3

Les données validées de la DIRH et de la cellule informatique de la DGH ont permis de calculer approximativement ces quantités des eaux de surface du Burkina Faso aux

différentes stations de mesures et à la sortie du territoire. Il va sans dire que le total obtenu est inférieur au total réel car certains petits sous bassins du Niger et du Mouhoun n'ont pas de données permettant d'évaluer leurs apports.

La précision des valeurs présentées ici peut être améliorée si les conditions suivantes sont remplies :

- l'ensemble du réseau hydrométrique de mesures (sur rivières et sur retenues) est exploité de manière régulière et continue par la DIRH ;
- la banque de données d'HYDROM 3.2 de la DIRH est régulièrement mise à jour ;
- de nouvelles stations sont créées sur les principaux affluents non encore suivis, de préférence non loin des frontières pour mieux évaluer les apports aux pays voisins car tous les quatre bassins sont des bassins partagés ;
- les grands barrages sont l'objet de suivi avec une station à leur amont, une station dans le barrage et une station à l'aval du barrage ;
- le modèle hydrologique de simulation pluies-débits SMAP doit être calé sur l'ensemble des sous bassins pour améliorer l'évaluation des apports.

4 L'EAU SOUTERRAINE

4.1 La collecte des données existantes

4.1.1 Les sources de données au niveau national

Les sources de données sur les ressources en eau souterraine sont diverses et les données sont stockées et gérées sous différentes formes. La principale source est la DGH avec le logiciel BEWACO dont la mise à jour de la banque de données a été assurée par le projet Bilan d'Eau, le projet Renforcement de la DEP et le Projet Appui à la DGH.

A cette principale source il faut ajouter l'ONEA, dont la banque de données vient d'être mise au point et est en train d'être actualisée, et aussi les services et institutions suivantes :

La DIRH

Formellement la DIRH est chargée :

1. de l'inventaire de eaux de surface et souterraines, et des études générales pour une meilleure connaissance de la ressource en eau ;
2. du suivi et de l'évaluation de l'exploitation des ressources en eau ;
3. de la centralisation du traitement et de la diffusion des données sur les ressources en eau ;
4. de la mise en place et du suivi des structures chargées de la gestion des ressources en eau dans les bassins hydrographiques ;
5. de l'élaboration et de la publication de l'annuaire hydrologique et hydrogéologique national ;
6. de l'élaboration de propositions sur la législation et la réglementation de l'exploitation des ressources en eau ;
7. du suivi de l'application de la législation et de la réglementation en matière d'exploitation des ressources en eau.

Actuellement, elle n'a pas les moyens et les capacités matérielles pour s'acquitter des tâches 2, 4, 6, et 7 qui ne sont donc pas assurées.

Au niveau régional, ce sont les DRH à travers leurs SIRH qui sont chargées entre autre de la collecte des données relatives aux ressources en eau sur le terrain.

Les DRH

Ce sont des structures décentralisées de la DGH, chargées dans leurs limites territoriales :

1. de la gestion et de l'exécution des projets et actions de mise en valeur des ressources en eau ;
2. du suivi et du contrôle de la gestion des infrastructures hydrauliques ;

3. de la collecte, du traitement et de la diffusion des indicateurs de performance technico-économique des infrastructures et équipements hydrauliques ;

4. des études d'identification des projets.

L'ONEA

Il est chargé de la distribution de l'eau dans 28 centres à travers le pays. Pour cela, il exploite aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines. Les eaux souterraines sont captées à partir de forages d'exploitation à grand débit. Aussi, pour le suivi de la ressource, les données de pompage sont collectées par ce service et peuvent servir à la réalisation d'études piézométriques.

Le Laboratoire d'Hydrogéologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Ouagadougou

Il a été créé en 1985 et assure la formation supérieure et la recherche dans les domaines de l'étude, de la prospection et de l'évaluation des ressources en eau souterraine. Il effectue aussi des prestations de service en implantation et en suivi de travaux d'exécution de puits et de forages et en réalisation de pompages d'essai.

L'E.I.E.R. et l'E.T.S.H.E.R.

Ce sont des écoles régionales basées à Ouagadougou qui assurent la formation de cadres dans les domaines de l'hydraulique et de l'équipement rural et qui, à travers le Centre de Formation Continue (CEFOC) organisent des sessions de formations, de perfectionnement et de recyclage pour les cadres moyens et supérieurs des pays membres du pôle de l'eau de Ouagadougou.

Le CREPA

Organisme du pôle de l'eau dont le siège est à Ouagadougou, il joue un rôle important en matière de recherche-développement de technologies économiques d'AEP et d'assainissement et en matière de promotion et de vulgarisation de ces techniques.

Les entreprises de travaux

Elles se consacrent à l'exécution de travaux de génie civil et de génie rural grâce à l'acquisition de marchés essentiellement auprès de l'état, des collectivités et des ONG.

Les Bureaux d'études

L'apparition des premiers bureaux d'études nationaux est récente et date des années 80. Leur domaine d'activité est souvent diversifié et couvre l'ensemble du développement rural.

A l'exception des rapports d'exécution produits par les bureaux d'études chargés du contrôle des travaux, les entreprises ne disposent pas en général d'une banque de données de leurs réalisations.

4.1.2 Les sources de données spécifiques au bassin du Nakanbé

En ce qui concerne les sources de données du volet ressources en eaux souterraines du Nakanbé, ce sont les mêmes sources qu'à l'échelle nationale avec un accent sur les DRH couvrant la zone (Centre, Centre-Nord, et Centre-Est). Il n'existe pas d'autre source de données spécifique au bassin du Nakanbé ss.

4.1.3 Organisation de la collecte

La collecte des données des ressources en eau souterraine a été effectuée selon la même procédure que pour les eaux souterraines, étant donné que ce sont souvent les mêmes services qui disposent des deux types de données. Les données piézométriques disponibles dans la base de données BEWACO ont été transcrites sous Excel et complétées par les données disponibles au niveau du Service des Etudes et Publications (SEP) de la DIRH.

Différents bureaux d'études et entreprises ont été approchés, mais le plus souvent, les données dont ils disposent (rapports de campagnes de foration, rapports de suivi de projets, etc) sont parcellaires, brutes et difficilement exploitables dans le cadre d'une étude à l'échelle nationale. Le dépouillement et la saisie de ces données disparates est un travail fastidieux qu'il n'a pas été possible de réaliser dans le cadre de la préparation de ce rapport. Aussi, seules les études et rapports spécifiques ont été consultés dans le cadre de l'étape suivante de notre étude.

4.1.4 Description des données collectées

Les données au niveau national

Les données collectées concernent les mesures piézométriques et pluviométriques.

Données piézométriques collectées

Les données piézométriques collectées sont constituées de données du réseau piézométrique de base exploité par la DIRH et du réseau piézométrique secondaire nouvellement créé et exploité par l'ONEA.

Les données du réseau piézométrique de base ont été tirées du logiciel BEWACO. Le fichier des données piézométriques de BEWACO concerne 476 points de mesures répartis sur l'ensemble du Burkina Faso. Il est constitué de 85.947 mesures. Ces mesures couvrent la période allant de 1982 à 1984, et de 1994 à 1996, avec parfois des mesures ponctuelles allant jusqu'en 1999. Il est à noter que de cette série de 476 piézomètres, 142 points de mesures sont répartis sur 50 sites du Nakanbé ss. Ces données spécifiques au Nakanbé ss. ont été extraites sous format Excel pour exploitation.

Les données piézométriques du réseau secondaire de l'ONEA ont été collectées sous deux formes auprès de son service gestion des ressources en eau. Celles de cinq centres secondaires qui sont l'objet d'un projet d'étude actuellement en cours ont été obtenues sous format Excel. Elles couvrent la période allant de 1988 à 1999. D'autres données piézométriques existant sous leur forme brute sont contenues dans des fiches historiques tenues à jour par le service gestion des ressources en eau de l'ONEA. Environ 32.500 mesures existent pour une période allant de 1995 à 1999. Deux mille de ces données, concernant un piézomètre par station pour l'ensemble des centres secondaires, ont été collectées manuellement. Ces dernières données ont été saisies dans le logiciel Excel sur l'ordinateur du Volet Ressources en Eau.

Données pluviométriques collectées

Les données pluviométriques ont été obtenues auprès des services de la météorologie nationale. Ces données concernent la pluviométrie moyenne mensuelle pour la période 93-

99 car les données pour les périodes antérieures existent déjà dans BEWACO et avaient été collectées par le Volet Ressources en Eau. Elles concernent seulement les stations synoptiques de Gaoua, Ouagadougou, Bobo-Dioulasso, Dédougou, Dori, et Fada N'Gourma.

Autres données collectées

Aux données piézométriques et pluviométriques, il faut ajouter toutes les données collectées par le projet Bilan d'Eau auprès de différents projets (géologie, pédologie, profondeurs des forages, taux de réussite, débit moyen des forages, niveaux statiques, épaisseurs d'altération, etc) et qui ont servi à la réalisation des différentes études en vue de la détermination des potentialités hydrogéologiques à l'échelle nationale.

Les données pour le bassin du Nakanbé ss.

Pour ce qui concerne les données du volet ressources en eaux souterraines du Nakanbé, il a fallu tout simplement les sélectionner des listes nationales.

4.2 Evaluation de la situation des données

4.2.1 Le réseau piézométrique

Le réseau piézométrique national est structuré en deux parties :

- un réseau piézométrique de base actuellement suivi par la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH). Ce réseau (RPN) vise à suivre la ressource en eau souterraine dans le milieu naturel.

Au départ (1982 - 1991), les mesures piézométriques étaient faites de façon dispersée, quatre cent cinquante piézomètres environ étant suivis. C'est par la suite que le projet Bilan d'eau (1992) mettra progressivement en place un réseau intégrant les points d'eau les plus intéressants à suivre et permettant d'évaluer les ressources en eau souterraine et de suivre les mécanismes de recharge et de décharge des nappes. De fait, le réseau piézométrique actuel compte 25 sites d'observation pour un total de 68 piézomètres repartis sur l'ensemble du pays et tenant compte des conditions climatiques, géologiques et hydrogéologiques. (voir dans la liste des cartes en annexe).

On désigne par site un village ou une ville sur le territoire duquel (rayon de 20 km) un ou plusieurs piézomètres ont été réalisés en vue de suivre le comportement de la nappe souterraine.

La liste des piézomètres du réseau de base est donnée en annexe 14.

- un réseau piézométrique secondaire actuellement suivi par l'ONEA et établi à partir de 1988. Ce réseau a pour but de suivre les nappes soumises à l'exploitation. Ce réseau se répartit sur 29 villes secondaires avec un total de 149 points de mesure (forages et puits)

et sur la ville de Ouagadougou qui a 107 points de mesure, soit un total de 256 points de mesures (voir annexe 15).

Les ressources en eau souterraine du bassin du Nakanbé sont suivies dans leur état naturel sur 8 sites (24 piézomètres) situés à l'écart des exploitations. Les sites piézométriques précités constituent le réseau primaire du bassin du Nakanbé. Un projet visant la gestion des

ressources dans les zones exploitées a démarré à l'ONEA, autour des centres de Tenkodogo et Gourcy. Il existe aussi des données piézométriques mises en place pour une durée déterminée (généralement de 2 à 5 ans) pour des études hydrogéologiques diverses parmi lesquelles on peut citer les piézomètres du BRGM/Aquater sur la recharge naturelle des aquifères, du Projet Bilan d'Eau, de l'étude des ressources en eau souterraine du Yatenga, les réseaux de suivi de projets d'hydraulique villageoise, etc.

4.2.2 Données des fiches historiques de l'ONEA

Le Service de Gestion des Ressources en Eau de la Direction de l'Exploitation de l'ONEA a collecté des données sur les mesures piézométriques auprès de différents centres secondaires et projets qu'elle gère.

Actuellement, les mesures piézométriques de 256 points d'eau ont été stockées sous forme de fiches historiques et ce pour la période allant de 1988 à 1999. Nous avons seulement collecté 2000 mesures couvrant tous les centres pour la période 1995 - 1999.

4.2.3 Fiabilité des données stockées

Un contrôle général de la fiabilité des données piézométriques recueillies a été fait. Les types d'erreurs suivants ont pu être rencontrés :

- erreurs de mesures manuelles sur le terrain (niveau de référence erroné, erreur de relevé, etc.) ;
- erreurs d'écriture sur le terrain (niveau) ;
- erreurs de saisie dans l'ordinateur.

Lors de l'analyse graphique de la variation du niveau piézométrique, les piézomètres dont les données sont manifestement entachées d'erreur ont été éliminés (fluctuations anormales ou impossibles, courbes brisées ou plates, indentations des courbes traduisant des différences de points de repère lors des mesures, etc.).

4.2.4 Représentativité des données stockées

Selon le pas de temps auquel on les mesures, les fluctuations du niveau piézométrique fournissent des informations différentes. Malheureusement, bien des données sont lacunaires et il n'est pas fréquent de disposer de séries piézométriques de bonne qualité à des pas de temps différents sur le même point d'eau.

Les fluctuations journalières sont fonction de l'exploitation, des fluctuations de la pression atmosphérique, des marées lunaires et solaires, le premier facteur étant en général de loin le plus important. Ces données sont très rares. Dans BEWACO, une mesure au maximum a été saisie par jour, ce qui empêche l'analyse des fluctuations journalières.

Les fluctuations saisonnières sont liées aux fluctuations climatiques : saison des pluies, évapotranspiration, activité du couvert végétal. La période de montée saisonnière des niveaux a lieu globalement de juillet à septembre, et la baisse d'octobre à juin. Ceci est valable surtout pour les nappes phréatiques. Les aquifères plus profonds, captifs, peuvent réagir de façon tout à fait différente, avec un décalage par rapport à la saison des pluies.

Les fluctuations pluriannuelles du niveau dans les piézomètres donnent des indications importantes. Elles peuvent être liées à une baisse ou hausse de la pluviométrie

pluriannuelle, au prélèvements (lorsqu'ils excèdent la recharge des aquifères), à la dégradation de l'environnement entraînant un changement des conditions de recharge ou d'évapotranspiration, etc.

D'une manière générale et après observation, on a noté une baisse des niveaux durant la période 1981- 1985, une constance dans les niveaux pour la période 1985 -1990 et une tendance à la remontée après 1990.

En dehors du manque de données selon les divers types de fluctuation, et des erreurs dans les mesures collectées, la représentativité des mesures peut aussi varier d'un endroit à un autre. Elle dépend de plusieurs facteurs :

- Du type de point d'eau :

Il y a quatre types de points d'eau qui sont utilisés pour les mesures piézométriques : les forages positifs (138), les forages techniquement négatifs (20), les vrais piézomètres (165) et les puits modernes et traditionnels (77).

Les piézomètres et les forages négatifs ne sont pas utilisés pour le pompage de l'eau. C'est pourquoi leurs mesures peuvent être considérées comme mieux représentatives du niveau statique. Dans les autres ouvrages, les données piézométriques peuvent apporter des informations utiles sur les conditions d'exploitation de l'aquifère, mais les mesures du niveau naturel y sont généralement faussées ou influencées par le prélèvement.

- De l'heure de mesure :

L'effet de l'heure de mesure sur la valeur du niveau de la nappe obtenu joue surtout un rôle avec les forages positifs et les puits modernes utilisés pour la soustraction. En général, le niveau sera moins profond dans la matinée avant la soustraction journalière qu'à la fin de la journée après la soustraction. Cette différence de niveau dépend de l'ampleur de la soustraction et des caractéristiques de l'aquifère et du point d'eau. Il est bien évident qu'on ne peut pas demander aux équipes qui effectuent les mesures de ne travailler que le matin. La qualité des données n'est donc pas homogène à ce niveau sur les ouvrages en cours d'exploitation. Etant donné que l'heure de la mesure ne figure pas dans les fichiers, il n'est pas possible de critiquer les données selon ce critère.

- De l'emplacement du piézomètre :

L'emplacement du piézomètre détermine le type d'information obtenu par les mesures piézométriques. Par exemple un piézomètre isolé en brousse donnera une information sur le comportement naturel de la nappe par rapport aux variations météorologiques. Un piézomètre dans un village donnera des informations sur l'effet du pompage de l'eau par les villageois ou sur le comportement semi-naturel de l'aquifère, cela dépendant des caractéristiques aquifères, de l'importance du pompage et de la distance entre le

piézomètre et les points d'eau utilisés. Enfin, un piézomètre à coté d'un barrage ou d'une rivière pourra donner une information sur la recharge de l'aquifère par l'eau de surface.

4.2.5 Les système de suivi

Au niveau des piézomètres du réseau de base, les observations sont généralement mensuelles pour les sites qui ne sont pas équipés d'enregistreurs et quotidiennes là où il y a un observateur. Les différentes brigades hydrologiques sont chargées de la collecte des données au cours des tournées hydrologiques.

De retour de tournée, les brigades hydrologiques envoient les relevés aux différents chefs de divisions hydrologiques de la DIRH qui les contrôlent et les transmettent au Service Etudes

et Publications. Ces données sont alors saisies dans la banque de données piézométriques gérées par le logiciel BEWACO. (voir organigramme en annexe 11).

Pour ce qui concerne le réseau secondaire, les chefs de centres ONEA envoient les données sous forme de rapports mensuels au Service de Gestion des Ressources en Eau de la Direction Générale de l'ONEA à Ouagadougou qui les contrôle. Pour la ville de Ouagadougou, les mesures sont effectuées par le Service de Gestion des Ressources (voir organigramme en annexe 12). Ce service est en train de mettre en place une base de données dans laquelle ces données seront saisies.

Il faut noter qu'une partie des données a déjà été saisie et traitée par le Projet Danois pour les centres de Tenkodogo, Gourcy, Koungoussi, Yako et Dédougou dans le cadre d'une étude spécifique.

4.2.6 Analyse critique du réseau piézométrique

Le réseau piézométrique national compte 25 sites avec un total de 69 piézomètres. Selon le rapport final du projet "Soutien à l'optimisation du réseau national" (PSORN) publié en mai 1999, les sites actuels se situent sur les principaux aquifères du pays. Cependant pour une optimisation du réseau, de nouveaux piézomètres doivent être intégrés au réseau actuel.

Cependant, certains piézomètres sont actuellement détériorés. Leur remplacement est nécessaire pour que le réseau actuel permette de mieux quantifier les ressources en eau souterraine.

Le réseau piézométrique secondaire est entrain d'être organisé par l'ONEA en ce qui concerne ses sites exploités pour l'approvisionnement en eau potable. La DIRH n'a pas encore pris en compte le suivi de l'exploitation intensive des eaux souterraines par des particuliers.

Le réseau piézométrique primaire du bassin du Nakanbé ss. compte 8 sites avec un total de 25 piézomètres. Il est à noter que 8 piézomètres sont actuellement détériorés notamment à Bindé (1), à Ouda (1), à Niamatoulaye (3) et à Alamou (2).

4.2.7 Analyse critique de la gestion des données

Les données piézométriques collectées sont transmises au Service Etudes et Publications de la DIRH qui les saisit sur le logiciel BEWACO. Cette banque n'est pas mise à jour (surtout après 1992) et les données existantes ne sont pas complètes (manque ponctuel ou en continu sur une ou plusieurs années), parfois par manque de mesures ou par négligence.

Un problème à résoudre est le format des données de base provenant d'autres sources que le MEE (entreprise, ingénieurs-conseils, projets, etc). Chacun utilise ses propres formats de données, parfois ses propres codifications, les données collectées ne sont pas toujours les mêmes. Il appartient à la DGH de réfléchir à une solution qui permettrait d'harmoniser la collecte des données dès les travaux de terrain pour faciliter leur intégration dans une base nationale et la comparaison des informations. Une méthode pourrait consister à préparer et à

distribuer aux divers intervenants des fichiers de base prêts à accueillir les données, dans un format aussi universel que possible (par exemple fichier Excel).

4.3 Bilan des ressources en eau souterraine

4.3.1 Historique de l'estimation des ressources renouvelables

La quantification des ressources en eau disponibles dans les formations cristallines et sédimentaires suppose en fait que l'on connaît l'épaisseur des réservoirs aquifères et leur extension latérale. De plus, les ressources naturelles mobilisables sans rupture d'équilibre à moyen ou long terme dépendent de trois variables déterminantes de leur dynamique: les flux d'apport, les flux sortant, et le rôle régulateur du réservoir.

Quelques auteurs ont tenté de quantifier ces ressources.

4.3.1.1 Estimations de Engalenc (1981)

Adoptant des valeurs hypothétiques pour la porosité utile des réservoirs pour l'altération (2 à 5 %) et 1 à 2 % pour les aquifères fissurés, cet auteur avance les estimations suivantes :

- un km² du réservoir d'altérites renferme 20.000 à 50.000 m³ par mètre saturé. Une superficie identique du réservoir de fissures n'en recèlerait que 10.000 à 20.000 m³.

Pour une épaisseur saturée de 5 à 15 m, le réservoir d'altérites a une réserve disponible de 100.000 à 750.000 m³/ km². La réserve utile des réservoirs de fissures de 40 m d'épaisseur est de 400.000 à 800.000 m³/ km². Il faut ajouter que la porosité des aquifères fissure varie de 1 % à la surface du réservoir à presque 0 % à 40 m de profondeur en raison de la fermeture progressive des fissures ;

- la répartition des réserve serait approximativement de:
 - 50 % dans les 10 premiers mètres ;
 - 30 % entre 10 et 20 mètres ;
 - 15 % entre 20 et 30 mètres ;
 - 5 % dans les 10 derniers mètres.

4.3.1.2 Estimations de Bourgeois(1981)

Cet auteur a procédé à une estimation des valeurs moyennes de "l'infiltration efficace", en fonction de la nature des terrains affleurants et des "précipitations efficaces" (Pf⁴) :

- 1/4 de Pf sur les argilites et schistes de toute nature ;
- 1/3 de Pf sur les granitoïdes et autres terrains cristallins non schisteux ;

⁴ Pf = "Précipitations efficaces", qui représentent la fraction des précipitations échappant à l'évaporation réelle pour ruisseler directement vers la rivière après avoir transité dans le terrain, ceci à l'échelle d'un bassin local. Le calcul de Pf a été effectué par bilans mensuels à partir des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle (Etp) par la formule mensuelle de TURC.

- 1/2 de Pf sur les terrains sableux et gréseux non métamorphisés ;
- 3/4 de Pf sur les épanchements volcaniques récents.

Il en a déduit la valeur des ressources renouvelables pour les régions de socle et de sédimentaire ancien du Burkina Faso. Ces ressources s'élèvent à 5,73 milliards de m³.

4.3.1.3 Estimation des ressources renouvelables par le CIEH(1987)

Les travaux effectués par le CIEH donnent les résultats globaux ci-dessous indiqués pour l'ensemble du Burkina :

- Continental Terminal: plaine du Gondo. Superficie: 11.380 km². Volume des réserves : 430 millions de m³
- Socle précambrien (aquifères discontinus). Superficie: 225.360 km². Volume des réserves : 3.370 millions de m³
- Formations infracambriennes. Superficie: 32.390 km². Volume des réserves : 1960 millions de m³

Soit un total de 6,760 milliards de m³.

4.3.1.4 Estimation des réserves par le Projet Bilan d'Eau (1993)

Grâce aux nombreux travaux de forage effectués sur tout le territoire dans le cadre de l'hydraulique villageoise, il a été possible de dégager certaines caractéristiques hydrogéologiques qui, ajoutées aux conditions de recharge permettent de classer les régions du pays selon leurs potentialités en eau souterraine :

REGION	RESSOURCES RENOUVELABLES en millions de m ³	RESERVES TOTALES en millions de m ³
CENTRE	600	7 600
CENTRE EST	330	3 230
CENTRE NORD	250	4 050
CENTRE OUEST	1040	9 380
EST	2200	16 190
HAUTS BASSINS	2200	26 940
BOUCLE DU MOUHOUN	1400	24 200
NORD	160	7 170
SAHEL	300	9 550

SUD OUEST	1020	5 130
TOTAL	9500	113 240

Les ressources renouvelables sont estimées sur la base des recharges par infiltration. Les réserves totales en eaux souterraines du Burkina Faso sont estimées à 113,2 milliards de m³ avec seulement 9,5 milliards de m³ de réserves renouvelables, donc exploitables à long terme.

4.3.1.5 Estimation des ressources en eau par le programme RESO (1996-1999)

La zone sédimentaire de l'ouest Burkina

Une quantification des réserves totales en eau souterraine a été faite à la suite d'études approfondies avec l'appui de l'assistance technique du programme RESO et donne les résultats suivants :

Unités hydrogéologiques	Dans la zone d'affleurement	Dans la zone captive	Total série
Grès inférieurs	1 260	30	1 290
Grès de Kawara-Sindou	16 660	4 190	20 850
Grès fins glauconieux	25 730	5 590	31 320
Grès à granules de quartz	58 020	3 750	61 770
Siltstones-argilites-carbonates	23 390	1 390	24 780
Grès fins roses	7870	540	8 410
Schistes de Toun	50 910	100	51 010
Grès de Koutiala et de Fo-Bandiagara	2452	0	2452
Total série sédimentaire	186 292	15 590	201 882

Réserves en eau souterraines de la série sédimentaire de l'ouest du Burkina en millions de m³.

Le tableau montre que les réserves totales de l'ensemble de la série sédimentaire peuvent être estimées à 202 milliards de m³. Cette valeur de 202 milliards de m³ peut sembler considérable : elle remet en effet en cause à elle seule et pour une région de 40.000 km² seulement (soit 14 % du territoire national) les données actuelles disponibles qui font état, pour l'ensemble du Burkina Faso, d'un total de 113 milliards de m³.

Les résultats présentés ci-dessus s'appuient sur une forte potentialité aquifère des terrains, que mettent bien en évidence les quelques forages à gros débit déjà réalisés ainsi que les sources importantes qui les drainent. Le paramètre qui prête le plus à discussion est sans conteste le coefficient d'emmagasinement. Celui-ci a été estimé en moyenne à 3.4 % dans l'ensemble des zones d'affleurement. Une valeur beaucoup plus basse de $1.1 \cdot 10^{-4}$ (source : RESO) a été retenue pour les parties captives des aquifères. Ces chiffres qui sont approximatifs sont cependant prudents et la réalité ne doit pas être très différente des chiffres avancés.

Le Programme RESO a également cherché à évaluer le volume des réserves facilement accessibles, c'est-à-dire exploitables par des forages de moins de 200 m de profondeur (il faut noter que dans la zone sédimentaire, les forages dépassant une centaine de m captent presque toujours un aquifère en charge ou même artésien dont le niveau de l'eau est proche du sol et exploitable par des pompes à motricité humaine. Dans une telle situation, "forage de 200 m de profondeur" ne signifie pas "eau à pomper à 200 m de profondeur").

Pour le sédimentaire de l'ouest du Burkina, les réserves facilement accessibles sont de l'ordre de 160 milliards de m³ et 117 milliards pour le sédimentaire de la zone RESO, toutes en zone d'affleurement. Mais, il faut préciser que leur exploitation intensive pourrait à long terme entraîner le risque encore mal évalué de rabattre les niveaux piézométriques dans la zone. Cependant le volume des besoins est tellement faible par rapport aux volumes des réserves que l'on peut envisager à court terme d'y recourir, à condition d'envisager des études hydrogéologiques complémentaires pour mieux comprendre le fonctionnement de ces aquifères et leur mécanisme de recharge.

Unité hydrogéologique	En affleurement	En zone captive	Total série
Grès inférieurs	1 000	10	1 010
Grès de Kawara-Sindou	9 920	80	10 000
Grès fins glauconieux	10 790	50	10 840
Grès à granules de quartz	27 325	155	27 480
Siltstones-argilites-carbonates	21 130	100	21 230
Grès fins roses	7 870	90	7 960
Schistes de Toun	36 010	50	36 060
Grès de Koutiala et de Fo-Bandiagara	2 450	0	2 450
Total série sédimentaire	116 495	535	117 030

Réserves en eau souterraines facilement exploitables de la série sédimentaire de l'ouest du Burkina en millions de m³.

4.3.2 Estimation des ressources en eau par le Programme GIRE

Admettant les valeurs obtenues par le Programme RESO pour la zone Ouest Burkina (étude la plus récente), des estimations ont été faites pour les autres parties du pays en vue d'une quantification des ressources en eau souterraines par bassin versant.

4.3.2.1 Bilan des réserves de la Comoé

L'évaluation de ces réserves ne peut qu'être approximative du fait de la méconnaissance de la porosité des roches réservoirs qui a été estimée d'après les caractéristiques extraites de la bibliographie pour chaque terrain aquifère (Castany, 1986). Le tableau ci-dessous permet d'affecter un ordre de grandeur aux réserves totales en eau souterraine (en millions de m³) disponible dans le bassin versant de la Comoé :

Sous-bassin	Sédimentaire	Socle	Alluvions	Altérites	Total
Haute Comoé	25 635	12 370	90	9 645	47 740

Léraba	19 985	5 295	40	6 910	32 230
Kodoun	0	1 560	10	0	1 570
Baoué	0	2 000	10	1 480	3 490
Iroungou	0	1 170	10	1 870	3 050
Total	45 620	22 395	160	19 905	88 080

La répartition de ces réserves aquifères est très inégale : la zone sédimentaire qui ne couvre que 20% du bassin renferme plus de la moitié des réserves aquifères.

Les ressources renouvelables représentent environ 11 % du volume annuel reçu soit 2530 millions de m³.

4.3.2.2 Bilan de l'eau dans le bassin versant du Mouhoun

Sur base des résultats détaillés produits par le programme RESO dans une partie importante du bassin du Mouhoun, en considérant la superficie totale de ce bassin au Burkina et en distinguant les parties sédimentaires (zone de Nouna-Tougan) et les parties du socle cristallin, on peut estimer les réserves totales en eau souterraines à 303 milliards de m³. Rien que la partie du bassin située dans la zone étudiée par RESO contient environ 124 milliards de m³.

Les ressources renouvelables peuvent être estimées à 7 milliards de m³.

4.3.2.3 Bilan de l'eau dans le bassin versant du Niger (sans le sous bassin versant du Banifing qui est inclus dans la zone sédimentaire du Sud-ouest).

La partie sédimentaire étant minime par rapport à la zone du socle, il est considéré ici qu'au delà d'une certaine profondeur (60 m), les chances de trouver de l'eau dans les forages s'amenuisent énormément et sont très proches de zéro.

A l'échelle du bassin versant, les paramètres suivants ont été retenus pour l'évaluation des réserves :

- la profondeur moyenne des forages (47 m) ;
- l'épaisseur moyenne des altérations (30 m) ;
- l'épaisseur des arènes (6 m) ;
- le niveau statique moyen (15 m).

Toutes ces moyennes découlent du traitement statistique des données mises à jour. Elles concernent exclusivement les différents programmes d'hydraulique villageoise exécutés dans la zone et dont les objectifs en terme de débits sont limités (débits cibles minimum de 0.7 m³/h).

Lithologie	Epaisseur moyenne (m)	Porosité utile ou coeff. d'emmag.	Superficie km ²	Volume total disponible en Mm ³
Altération sèche	15	- -	-	- -
Altération sableuse	10	0,02 à 0,05	48 960	9 792 à 24 480

Cuirasse, etc... (nl)				
Arènes (nl)	6	0,05 à 0,1	29 600	8 880 à 17 760
Socle altéré, fissuré (nc)	10	0,001 à 0,005	61 200	612 à 3 060
Socle sain (nc)	6	1E-07 à 5E-07	61 200	négligeable
Total	47	- -	-	19 284 à 45 300

On obtient donc une valeur moyenne de 32 milliards de m³ pour ce qui concerne le Niger.

4.3.2.4 Les ressources du Nakanbé

Réserves totales du bassin versant du Nakanbé ss.

La partie sédimentaire étant minime par rapport à la zone du socle, il est considéré ici qu'au delà d'une certaine profondeur (60 m), les chances de trouver de l'eau dans les forages s'amenuisent énormément et sont très proches de zéro.

A l'échelle du bassin versant, les paramètres suivants ont été retenus pour l'évaluation des réserves :

- la profondeur moyenne des forages (56 m) ;
- l'épaisseur moyenne des altérations (30 m) ;
- l'épaisseur des arènes (5 m) ;
- le niveau statique moyen (15 m).

Toutes ces moyennes découlent du traitement statistique des données mises à jour. Elles concernent exclusivement les différents programmes d'hydraulique villageoise exécutés dans la zone et dont les objectifs en terme de débit sont limités (débits cibles minimum de 0.7 m³/h)

Lithologie	Epaisseur moyenne (m)	Porosité utile ou coeff. d'emmag.	Superficie km ²	Volume total disponible en Mm ³
Altération sèche	15	- -	-	- -
Altération sableuse Cuirasse, etc... (nl)	10	0,02 à 0,05	23 331	4 666 à 11 665
Arènes (nl)	5	0,05 à 0,1	13 724	3 431 à 6 862
Socle altéré, fissuré (nc)	20	0,001 à 0,005	29 164	583 à 2 916
Socle sain (nc)	6	1E-07 à 5E-07	29 164	négligeable
Total	56	- -	-	8 680 à 21 443

On obtient donc une valeur moyenne de 15 milliards de m³ pour ce qui concerne le Nakanbé ss.

Réserves totales du bassin versant du Nakanbé sl.

A l'échelle du bassin versant, les paramètres suivants ont été retenus pour l'évaluation des réserves :

- la profondeur moyenne des forages (52 m) ;
- l'épaisseur moyenne des altérations (26 m) ;
- l'épaisseur des arènes (6 m) ;
- le niveau statique moyen (10 m).

Toutes ces moyennes découlent du traitement statistique des données mises à jour. Elles concernent exclusivement les différents programmes d'hydraulique villageoise exécutés dans la zone et dont les objectifs en terme de débits sont limités (débits cibles minimum de 0.7 m³/h).

Lithologie	Epaisseur moyenne (m)	Porosité utile ou coeff. d'emmag.	Superficie km ²	Volume total disponible en Mm ³
Altération sèche	10	- -	-	- -
Altération sableuse Cuirasse, etc... (nl)	10	0,02 à 0,05	55 080	11 016 à 27 540
Arènes (nl)	6	0,05 à 0,1	32 400	9 720 à 19 440
Socle altéré, fissuré (nc)	20	0,001 à 0,005	68 850	1 377 à 6 885
Socle sain (nc)	6	1E-07 à 5E-07	68 850	négligeable
Total	52	- -	-	22 113 à 53 865

On obtient donc une valeur moyenne de 37 milliards de m³ pour ce qui concerne le Nakanbé sl..

4.4 Renouvellement de la ressource

4.4.1 Estimation de la recharge des aquifères

La recharge est la quantité d'eau qui alimente les nappes souterraines. Aussi, la valeur de la recharge est un paramètre très recherchée puisqu'il indique la quantité d'eau exploitable par an sans que l'équilibre du bilan d'eau ne soit rompu et que les nappes ne se mettent à baisser trop. Dans le cas d'une baisse généralisée importante d'une nappe (plusieurs mètres au moins), les conséquences peuvent être à la fois environnementales (tarissement de sources, mort de la végétation arborée dont les racines perdent l'accès à l'humidité) et socio-économiques (dénoisement des ouvrages de captages tels que puits et forages).

Le bilan d'eau se présente comme suit :

$$P = R + ETR + Re + ds$$

Avec :

- P : Précipitation
- R : Ruissellement
- Re : Recharge

-
- ETR : Evapotranspiration Réelle
 - ds : variation de stockage

La remontée de la nappe est définie comme l'amplitude de la fluctuation du niveau statique à l'échelle annuelle. A partir de cette remontée on peut faire une estimation de la quantité minimale de la recharge. Cette quantité est une valeur minimale parce que la quantité d'eau qui quitte le bassin versant par les écoulements souterraine n'est pas incluse et est très difficile à mesurer.

La variation spatiale de la remontée annelle des piézomètres est surtout une fonction de la situation hydromorphologique, à savoir que les fluctuations annuelles sont en général les plus importantes vers les bas-fonds et plus faibles vers les zones de mi-pentes et d'interfluves.

De plus, l'allure des fluctuations piézométriques montre une amplitude moins prononcée que celle de la pluviométrie. Cela montre qu'il y a une quantité d'eau qui quitte le bassin versant par d'autres voies (ruissellement, infiltration). Ainsi, la recharge dans les bassins est supérieure ou égale aux changements de stockages moyens annuels constatés à partir de la seule variation piézométrique.

En conclusion on peut dire que les mesures du niveau piézométrique démontrent clairement que la recharge des nappes a lieu surtout au niveau des bas-fonds dans la partie nord du pays.

Dans la partie sud du pays par contre, la recharge semble avoir lieu partout. En dehors des zones sédimentaires dont le mécanisme hydrogéologique est complexe et encore mal connus dans le détail, la recharge des nappes est rapide et semble surtout avoir lieu par voies préférentielles (certains points d'eau réagissent beaucoup plus vite que d'autres aux pluies, probablement en relation avec des réseaux de fractures à écoulement rapide).

4.4.2 Mécanismes de décharge des nappes

Dans la région sédimentaire, les écoulements régionaux sont bien connus et se manifestent par de nombreuses sources et par l'existence de forages artésiens.

Dans la région de socle cristallin, on n'a pas d'indications claires sur la présence d'un écoulement souterrain régional. Cependant, on signale que le Nakanbé était pérenne à Yakala durant les années 50 car durant cette période un débit de base était assuré par les écoulements souterrains. Cependant, le fait que le Nakanbé dans sa partie aval coule pendant 7 à 8 mois sur 12 et que l'on trouve de l'eau en permanence dans les points bas du lit de la rivière, indique qu'un écoulement souterrain continue à se produire.

Dans le nord, on note une reprise évaporatoire de plus en plus importante. En effet, la seule explication de la destination ultime de l'eau se trouve dans l'évaporation qui a lieu dans les bas-fonds. Sans cette explication, le bilan devrait s'équilibrer d'une autre façon et les aquifères déborderaient depuis longtemps sous forme de sources abondantes, ce qui n'est pas le cas.

La végétation, dense lorsque la nappe est à faible profondeur, engendre une transpiration importante permettant ainsi à l'eau de gagner l'atmosphère. De plus, une partie de l'eau souterraine peut être reprise par la végétation ligneuse sur les interfluves (arbres à racines profondes comme l'Acacia albida).

La partie de l'eau souterraine qui n'est pas reprise par l'évapotranspiration, assure un débit de base des rivières. Ces exutoires de la nappe se sont déplacés progressivement vers le sud au cours des années de l'abaissement des nappes et se trouveraient pour la plus grande partie au Ghana ou on observe la pérennité des rivières prenant leur source au Burkina (Le Nakanbé par exemple).

Tout ceci permet de conclure que le phénomène d'écoulement souterrain prend de l'importance en allant du nord vers le sud du Burkina.

4.4.3 Changement des caractéristiques hydrogéologiques dans le temps

La dégradation de l'environnement a des conséquences négatives sur la disponibilité en eau en saison sèche. A cause de l'augmentation des ruissellements et de la diminution de la recharge, les quantités retenues dans les bassins versants diminuent. En effet, pour la partie amont du Nakanbé, les coefficients de ruissellement ont augmenté au cours des années malgré une pluviométrie décroissante. Cette situation contradictoire est en relation directe avec la dégradation progressive de l'environnement dans cette partie du bassin.

La concentration de la recharge des nappes dans les bas-fonds, limite de plus en plus les possibilités d'exploitation des eaux souterraines dans cette partie du bassin.

En l'absence d'étude récente, les résultats obtenus par le projet Bilan d'Eau pour ce qui concerne la recharge et l'infiltration sont les seuls à considérer dans le cadre d'études locales.

4.4.4 Exploitation des données piézométriques de l'ONEA pour la recharge

Les mesures piézométriques de l'ONEA effectuées sur des ouvrages en cours d'exploitation assez intensive pour l'alimentation de centres secondaires donnent des informations importantes sur les ressources en eau du pays.

En effet, les prélèvements d'eau effectués donnent une idée des ressources disponibles et donc renouvelables des aquifères exploités.

Les variations du niveau piézométrique permettent de savoir si la recharge s'effectue correctement ou si les réserves en eau baissent d'une saison à l'autre du fait de l'exploitation intensive de la nappe et/ou de la pluviométrie.

Les variations du niveau dynamique permettent d'avoir la réponse de l'aquifère par rapport aux quantités prélevées. En effet, un niveau dynamique stable confirme une bonne réponse de l'aquifère en termes de disponibilité de la ressource tandis qu'un niveau dynamique fortement fluctuant traduit un état critique de l'aquifère, toujours en termes de disponibilité de la ressource.

On a constaté qu'à partir d'une exploitation de 300 m³/j par forage, les aquifères en domaine de socle présentent des difficultés et que la piézométrie a du mal de se stabiliser d'une année à l'autre. A partir des courbes piézométriques, on a distingué les centres où les ressources renouvelables sont abondantes (pas de baisse significative du niveau) des centres où ces ressources sont moins abondantes (niveau en baisse régulière).

Centres favorables	Géologie	Centres défavorables	Géologie
Bobo Dioulasso	Sédimentaire	Arbinda	Socle cristallin
Dédougou	Sédimentaire	Boromo	Socle cristallin
Diapaga	Sédimentaire	Boulsa	Socle cristallin
Diébougou	Socle cristallin	Dori	Socle cristallin
Djibo	Socle cristallin	Fada	Socle cristallin
Gaoua	Socle cristallin	Garango	Socle cristallin
Gorom-Gorom	Socle cristallin	Kaya	Socle cristallin
Gourcy	Socle cristallin	Kongoussi	Socle cristallin
Kombissiri	Socle cristallin	Koudougou	Socle cristallin
Léo	Socle cristallin	Koupèla	Socle cristallin
Manga	Socle cristallin	Ouagadougou	Socle cristallin
Niangoloko	Socle cristallin	Ouahigouya	Sédimentaire
Nouna	Sédimentaire	Réo	Socle cristallin
Po	Socle cristallin	Tenkodogo	Socle cristallin
Sabou	Socle cristallin	Yako	Socle cristallin
Tougan	Sédimentaire	Zabré	Socle cristallin

4.4.5 Bilan des réserves renouvelables à partir des données climatiques

Il s'agit de la part des réserves aquifères qui est renouvelée chaque année par l'infiltration des précipitations qui recharge les nappes. Pour la calculer, il faut tout d'abord disposer de la lame d'eau annuellement précipitée, puis soustraire les reprises par évapotranspiration et par ruissellement.

Le tableau ci-dessous donne une idée des volumes de pluie reçus par les bassins versants pour l'ensemble du pays :

BASSIN VERSANT	SUPERFICIE (en km ²)	VOLUMES RECUS (en millions de m ³)
COMOE	17 000	23 770
MOUHOUN	97 000	68 644
NAKANBE	81 105	55 485
NIGER	79 000	59 070
TOTAL	274 105	206 969

Volume de pluie annuel reçu par les bassins versants

Le bilan hydrique de chaque bassin versant montre que la reprise évapotranspiratoire atteint 82 à 90 % des précipitations. La quantité d'eau évacuée par ruissellement est dans une

fourchette de 5 à 8 % selon les bassins, ce qui fournit une infiltration d'environ 9-11%. Ainsi, les ressources souterraines renouvelables, en tenant compte des paramètres spécifiques à chaque bassin (pluie moyenne, coefficients de ruissellement, évapotranspiration) sont résumées dans le tableau ci-dessous :

BASSIN VERSANT	SUPERFICIE (en km ²)	RESSOURCES SOUTERRAINES RENOUVELABLES (en millions de m ³)
COMOE	17 000	2 530
MOUHOUN	97 000	6 964
NAKANBE	81 105	6 105
NIGER	79 000	5 072
TOTAL	274 000	20 670

4.5 Tableau synthétique des ressources en eau souterraine

Les différents résultats obtenus peuvent être consignés dans le tableau ci-dessous :

BASSIN VERSANT	VOLUMES RECUS (en Mm ³)	VOLUMES ECOULES (en Mm ³)	RESERVES RENOUVELABLES (en Mm ³)	RESERVES TOTALES (en Mm ³)
COMOE	23 770	1 990	2 530	88 000
MOUHOUN	68 644	4 626	6 964	303 000
NAKANBE	55 485	2 400	6 105	37 000
NIGER	59 070	1 015	5 072	32 000
TOTAL	206 970	10 030	20 670	460 000

Ce tableau montre que :

- les ressources renouvelables représentent seulement 4 % des réserves totales
- la zone sédimentaire (surtout dans le bassin du Mouhoun), qui ne couvre que 18 % du pays, renferme plus de la moitié de ses ressources en eau (environ 290 milliards de m³).

-
- l'estimation des besoins annuels en eau (tous besoins cumulés) faite par GIRE, de l'ordre de 1.8 milliards de m³, représente environ 5 % des réserves souterraines renouvelables et 0.4 % des réserves totales en eau souterraine.

4.6 Conclusion sur l'évaluation des ressources en eau sous souterraine

Le dernier projet qui a estimé les ressources en eau souterraine du Burkina Faso est le projet Bilan d'eau a évalué les réserves totales en eau du Burkina à 113 milliards de m³ et les réserves renouvelables à 9,5 milliards de m³. La présente étude, en s'appuyant sur des études plus récentes et sur une analyse documentaire de toutes les données disponibles, trouve respectivement les valeurs de 460 et 21 milliards de m³ soit respectivement 4 et 2 fois plus que les valeurs obtenues par le projet Bilan d'Eau.

La différence entre ces deux estimations peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- la période d'étude du Bilan d'Eau (1982 - 1992) correspond à une décennie sèche ce qui pourrait jouer sur l'état général de la ressource ;
- après le projet Bilan d'Eau de nombreux projets ont été exécutés à travers tout le pays ce qui a permis d'approfondir les connaissances (épaisseurs des couches, extension, propriétés hydrauliques) surtout sur la partie sédimentaire du pays.

En ce concerne le bassin versant du Nakanbé ss., ses ressources totales en eau souterraine sont estimées à 15 milliards de m³ soit 39 % des réserves totales du Nakanbé sl. et 5 % de l'ensemble des réserves du pays. Quant à ses réserves renouvelables, elles sont estimées à 2,4 milliards de m³ soit 40 % des réserves totales du Nakanbé sl. et 11 % de l'ensemble des réserves du pays.

Ces ressources sont à l'image de la pluviométrie et ne sont pas uniformément réparties sur le bassin. Ainsi, les ressources en eau seront plus abondantes dans la partie Sud du bassin, ce qui est confirmé par la piézométrie, la profondeur des forages moins importante dans la partie Sud et l'infiltration plus importante.

5 TABLEAU COMPARATIF DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE ET SOUTERRAINE

Les tableaux suivants résument les valeurs obtenues pour les différentes ressources en eau des bassins versants et du pays :

Les ressources totales du Burkina Faso

BASSIN	RESSOURCES TOTALES EN EAU SOUTERRAINE (en milliards de m ³)
COMOE	88
MOUHOUN	304
NAKANBE	37
NIGER	32
TOTAL	461

Les ressources renouvelables du Burkina Faso

Nom du bassin National	Ressources en eau de surface renouvelable (en milliards de m ³)	Ressources en eau souterraine renouvelable (en milliards de m ³)	Volume annuel renouvelable (en milliards de m ³)
Comoé	1,6	2,5	4,1
Mouhoun	3,0	7,0	10,0
Nakanbé	4,6	6,1	10,7
Niger	1,0	5,1	6,1
Total	10,3	21	31

Les ressources en eau renouvelables de l'ensemble du Burkina Faso sont évaluées annuellement à 31 milliards de m³.

L'eau de surface disponible se divise en écoulement et en eau retenue par les barrages :

BASSIN	Écoulement annuel (en milliards de m ³)	Volume des retenues (en milliards de m ³)	Potentiel total du bassin (en milliards de m ³)
COMOE	1,6	0,09	1,6
MOUHOUN	2,7	0,29	3,0
NAKANBE	2,4	2,20	4,6
NIGER	0,9	0,10	1,0
TOTAL	7,6	2,68	10,3

Pour le bassin du Nakanbé ss.

Ressources en eau de surface renouvelable (en milliards de m ³)	Ressources en eau souterraine renouvelable (en milliards de m ³)	Volume annuel renouvelable (en milliards de m ³)
2,7	2,4	5,1

Les ressources en eau renouvelables du bassin versant du Nakanbé ss. s'évaluent annuellement à 5,1 milliards de m³. Pour les eaux de surface, les volumes écoulés sont 1,05 et les volumes retenus sont 1,6 milliards de m³.

Tableau général des ressources en eau du pays et du bassin du Nakanbé ss.
(en milliards de m³)

	Écoulement annuel	Volume retenu	Réserves totales de surface annuelles	Réserve souterraine renouvelable annuellement	Réserves totales
BURKINA	7,6	2,68	10,2	21	460
NAKANBE ss	1,05	1,6	2,7	2,4	15

A titre comparatif, les besoins totaux en eau du pays sont estimés par le programme GIRE à 1,8 milliards de m³.

Les schémas des pages suivantes proposent un bilan des eaux par bassin versant.

Le schéma ci-dessous présente le bilan global de l'eau du bassin versant du Nakanbé ss.

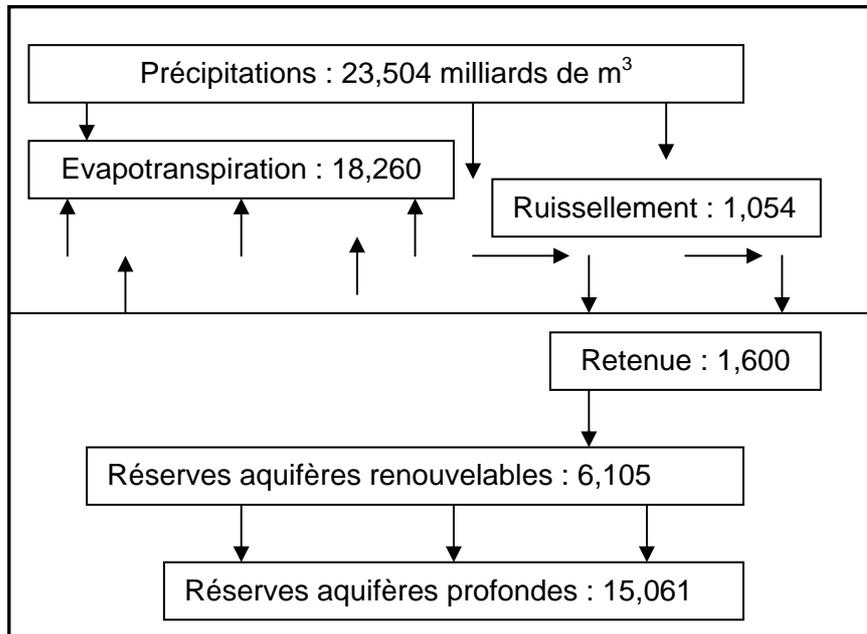


Schéma 1-a : bilan global de l'eau du bassin versant du Nakanbé ss en volume.

Les valeurs sont en milliards de m³.

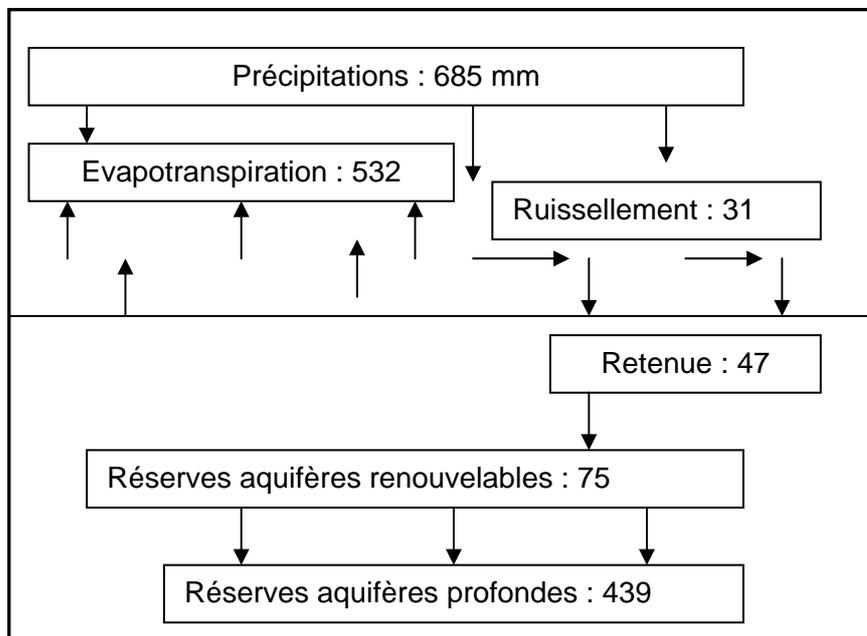


Schéma 1-b : bilan global de l'eau du bassin versant du Nakanbé ss en lame. (en mm)

Le schéma ci-dessous présente le bilan global de l'eau du bassin versant du Nakanbé sl.

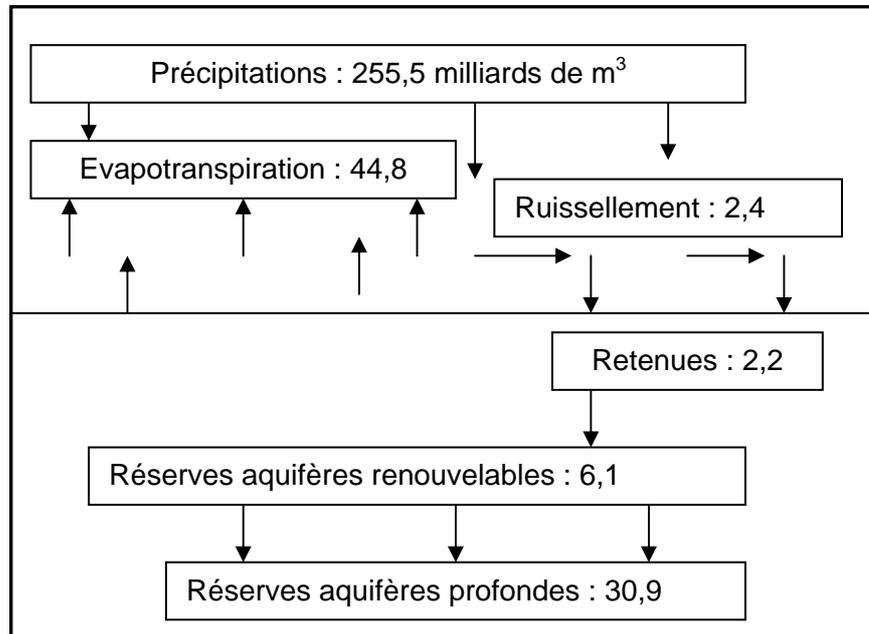


Schéma 2-a : bilan global de l'eau du bassin versant du Nakanbé sl en volume.

Les valeurs sont en milliards de m³.

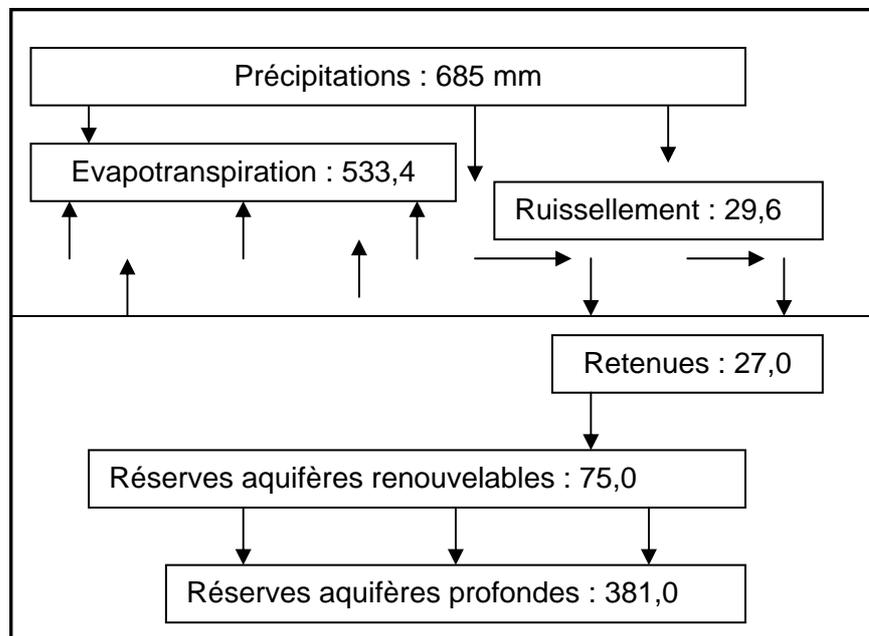


Schéma 2-b : bilan global de l'eau du bassin versant du Nakanbé sl en lame. (en mm)

Le schéma ci-dessous présente le bilan global de l'eau du bassin versant de la Comoé.

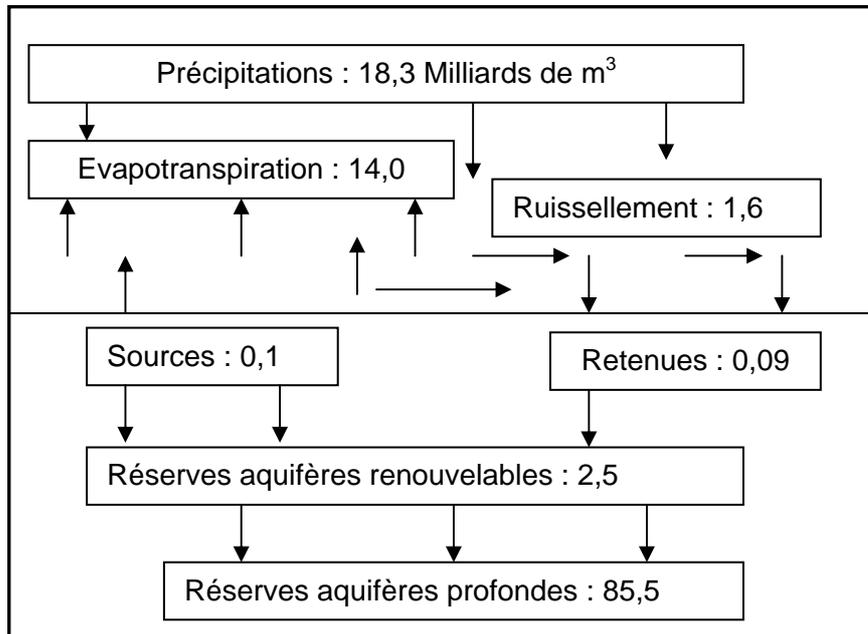


Schéma 3-a : bilan global de l'eau du bassin versant de la Comoé.

Les valeurs sont en milliards de m³.

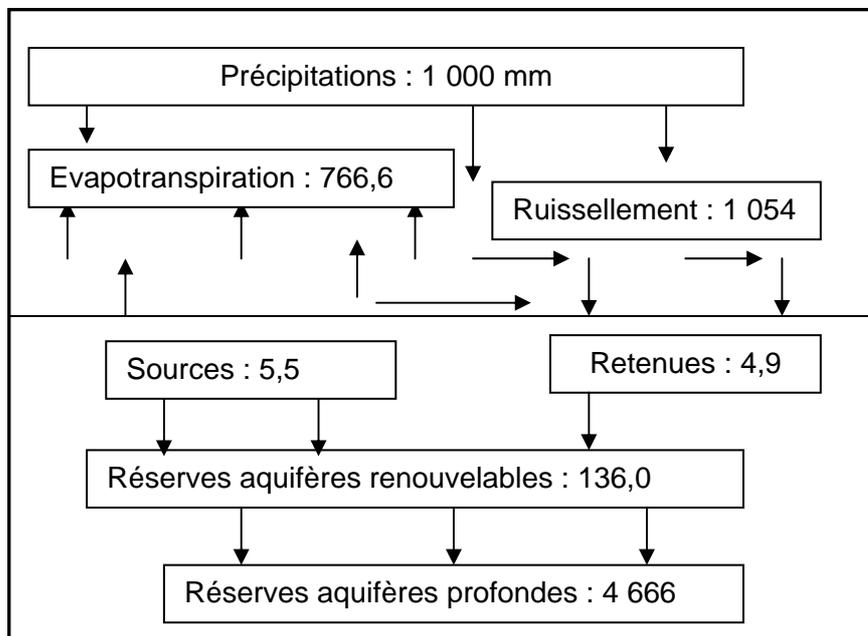


Schéma 3-b : bilan global de l'eau du bassin versant de la Comoé en lame. (en mm)

Le schéma ci-dessous présente le bilan global de l'eau du bassin versant du Mouhoun.

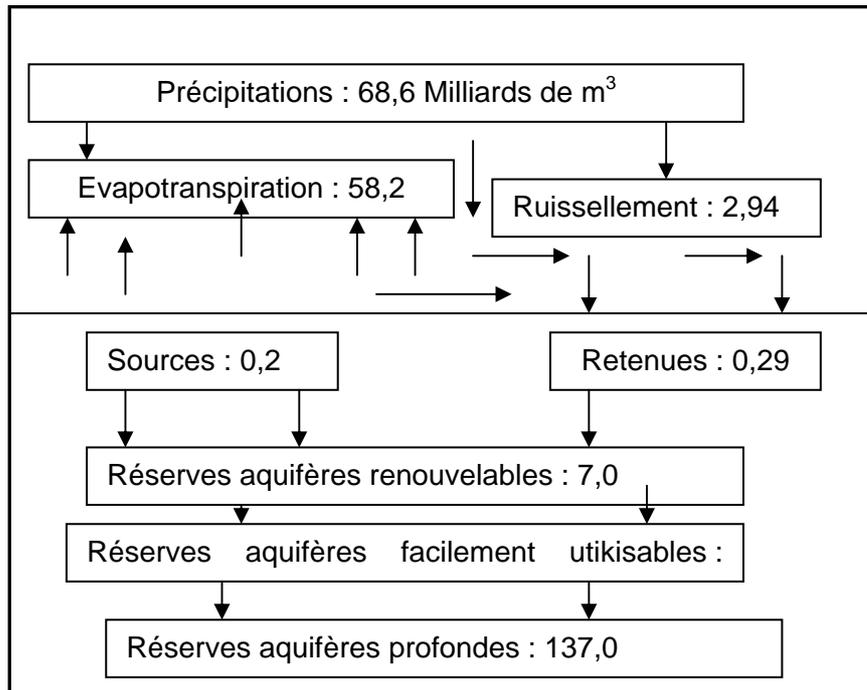


Schéma 4-a : bilan global de l'eau du bassin versant du Mouhoun.

Les valeurs sont en milliards de m³.

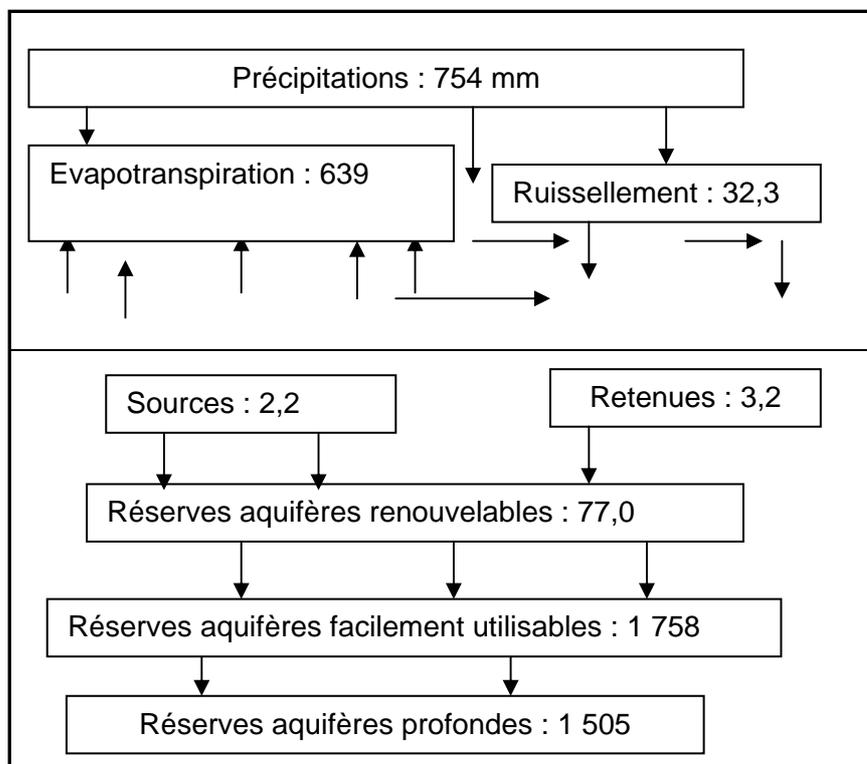


Schéma 4-b : bilan global de l'eau du bassin versant du Mouhoun en lame. (en mm)

Le schéma ci-dessous présente le bilan global de l'eau du bassin versant du Niger.



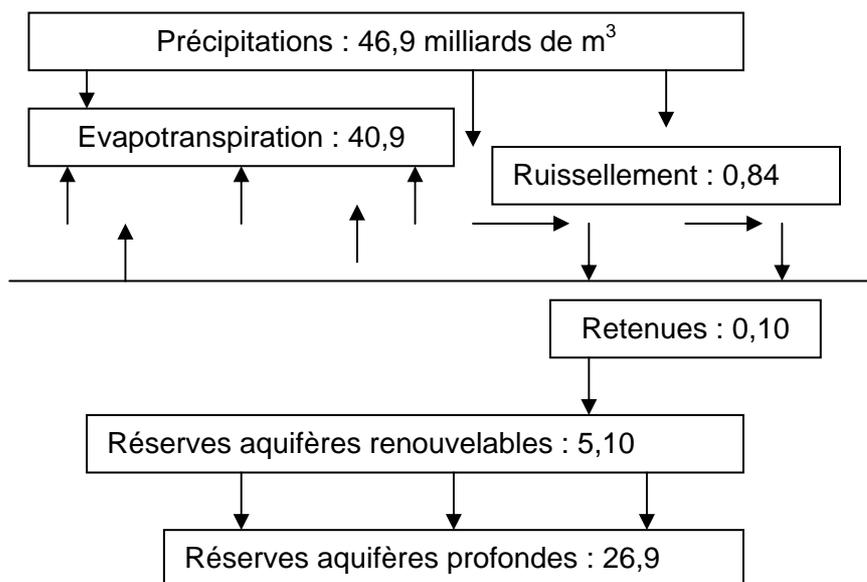


Schéma 5-a : bilan global de l'eau du bassin versant du Niger en volume.

Les valeurs sont en milliards de m³.

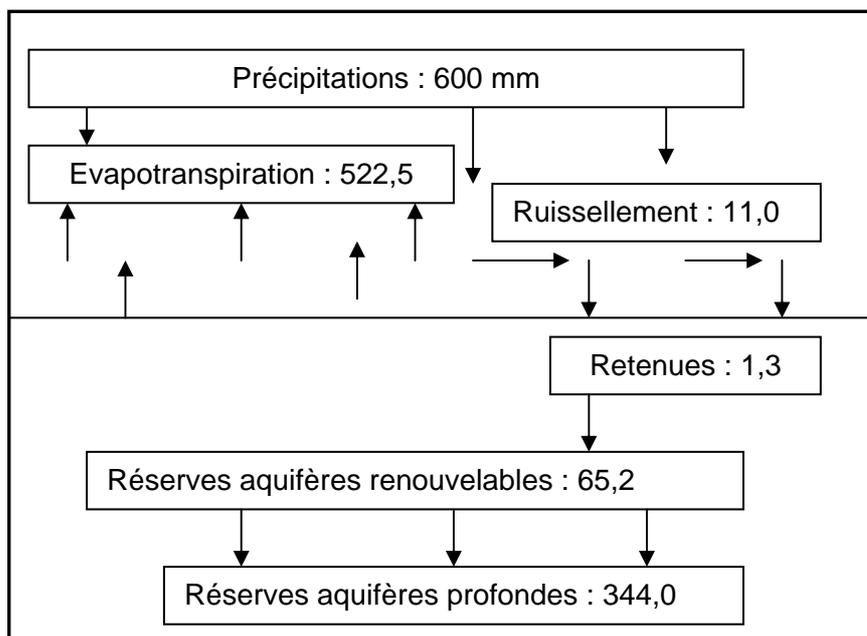


Schéma 5-b : bilan global de l'eau du bassin versant du Niger en lame d'eau. (en mm)

Le schéma ci-dessous présente le bilan global de l'eau du Burkina Faso

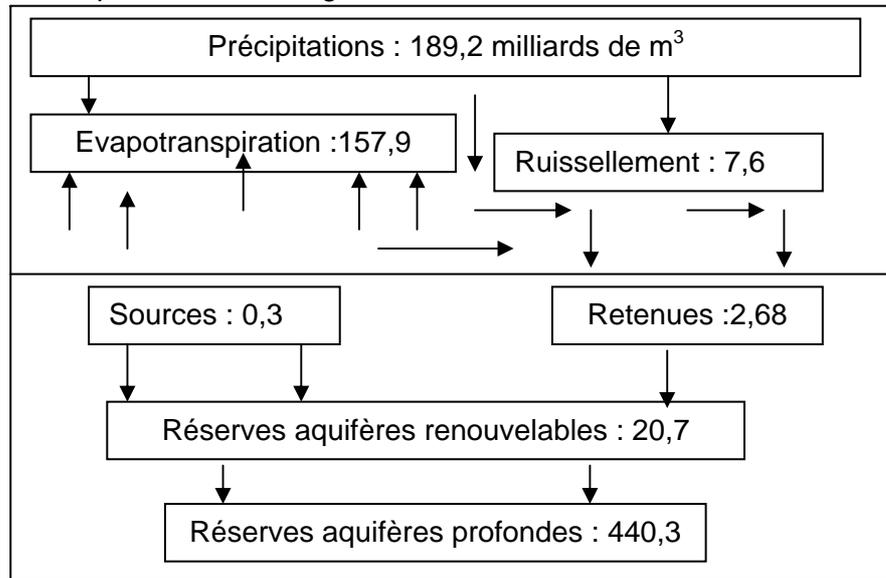


Schéma 6-a : bilan global de l'eau du Burkina Faso en volumes.

Les valeurs sont en milliards de m³.

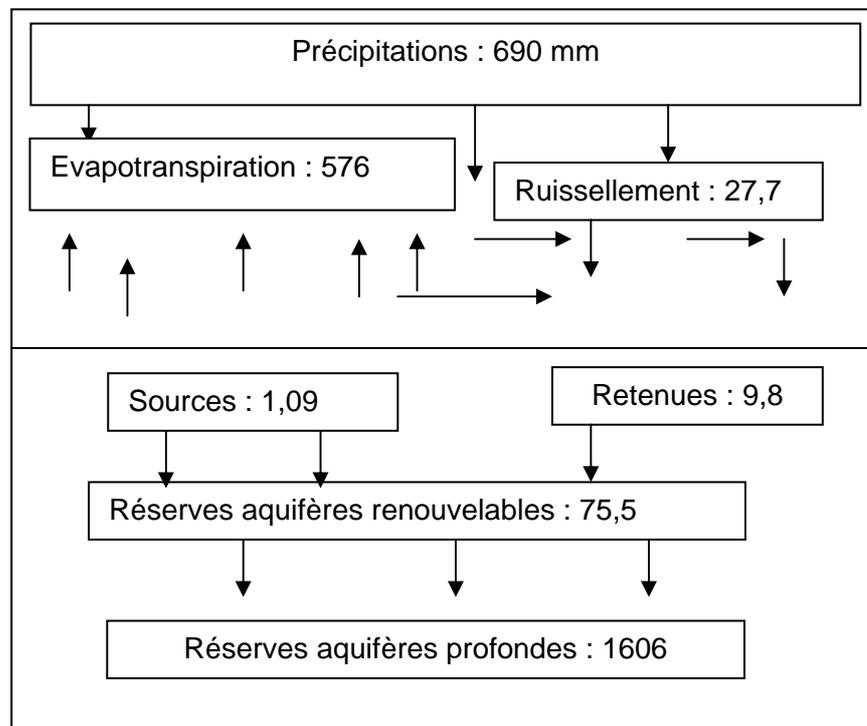


Schéma 64-b : bilan global de l'eau du bassin versant du Burkina Faso lame. (en mm)

6 RECOMMANDATIONS SUR LE SUIVI ET EVALUATION FUTURE DES RESSOURCES EN EAU

6.1 Pour les eaux de surface

Afin d'améliorer tous ces résultats obtenus, les actions suivantes doivent être entreprises :

- l'ensemble du réseau hydrométrique de mesures (sur rivières et sur retenues) doit être exploité de manière régulière et continue par la DIRH ;
- la banque de données d'HYDROM 3.2 de la DIRH doit être régulièrement mise à jour ;
- de nouvelles stations doivent être créées sur les principaux affluents non encore suivis, de préférence non loin des frontières pour mieux évaluer les apports aux pays voisins car tous les quatre bassins sont des bassins partagés ;
- les grands barrages doivent être l'objet de suivi avec une station à leur amont, une station dans le barrage et une station à l'aval du barrage ;
- le modèle hydrologique de simulation pluies-débits SMAP doit être calé sur l'ensemble des sous bassins pour améliorer l'évaluation des apports.

6.2 Pour les eaux souterraines

Pour une meilleure estimation future des ressources en eau souterraines du Burkina Faso, les points suivants sont recommandés :

- la collecte de données piézométrique doit être une opération régulière ; la réalisation d'un levé piézométrique national doit être envisagée à court terme en vue de permettre la réalisation de cartes piézométriques ;
- la réhabilitation des piézomètres détériorés est nécessaire. De nouveaux piézomètres doivent être insérés dans le réseau piézométrique national actuel et ce dans les régions suivantes du pays :
 - dans la partie aval du bassin versant du Nakanbé (Po, Manga, Bittou) qui donne certainement des réponses importantes sur la recharge dans le bassin ;
 - dans les zones sédimentaires aux caractéristiques hydrogéologiques non encore complètement connues : extrême Est, zone de Nouna - Dédougou - Tougan - Ouahigouya, zone de Fo - N'Dorola et qui renferment d'énormes potentialités hydrogéologiques (Mouhoun moyen) ;
 - dans la zone artésienne et des sources de Orodara - Fon - Djigouera pour une meilleure maîtrise des mécanismes de recharge/décharge des nappes et les écoulements du Mouhoun supérieur ;

- dans la zone Sud-Ouest du Burkina (Diébougou, Gaoua, Mangodara) en vue de mieux cerner les relations pluie-recharge des aquifères de la partie la plus arrosée du pays et aussi les mécanismes de recharge/décharge des aquifères et les écoulements du Mouhoun inférieur.

7 BIBLIOGRAPHIE

N° d'ordre A la DGH	Titres des rapports, publications	Remarques	
DOCUMENTS DU PROJET EDR			
B/96/004-A	Campagne de mesures hydrométriques durant la saison des pluies de 1995. Tome II :recueil des données. (DIALLO A.) Janvier 1996.	Rapport Français	technique.
B/96/004-B	Campagne de mesures hydrométriques durant la saison des pluies de 1995. Tome I : rapport de synthèse. (DIALLO A.) Janvier 1996.	Rapport Français	technique.
B/96/007	Inventaire des données pluviométriques de la base des données <<BASENAK>>. Recueil de pluies mensuelles et annuelles. (DIALLO A.) Juin 1996	Rapport Français	technique.
B/96/008	Inventaire des données pluviométriques de la base des données <<BASENAK>>. Jaugeages – Etalonnages- Côtes-Débits. (DIALLO A.) Juin 1996	Rapport Français	technique.
B/96/009	Etalonnage des stations hydrométriques des stations du Nakanbé . Recueil de données : courbes - barèmes Juin 1996 (DIALLO A.)	Rapport Français	technique.
B/96/010	Etude hydro-climatique préliminaire: synthèse pour la connaissance sur les barrages-retenues du Nakanbé et l'étude du bilan hydrologique. Juillet 1996 (Desconnets J. C.)	Rapport Français	technique.
B/96/011	Etude hydro-climatique préliminaire: synthèse des informations climatiques et hydrologiques sur le bassin du Nakanbé et ses affluents. Juillet 1996. (Desconnets J. C.)	Rapport Français	technique.
B/96/012	Proposition d'une méthodologie pour la modélisation hydrologique du bassin versant du Nakanbé. Juillet 1996. (Desc J.C. /DIALLO A.)	Rapport Français	technique.
B/96/013	Etude hydro-climatique préliminaire: choix des petits bassins versants pour le test du modèle CEQUEAU. Août 1996 (Desconnets J.C.)	Rapport Français	de synthèse.
B/96/014	Rapport d'avancement des activités du Volet B. Second trimestre 1996. Août 1996. (Desc. J.C.)	Rapport Français	technique.
B/96/015	Tracé et numérisation des courbes hauteurs – volumes et hauteurs - surfaces des barrages. Septembre 1996. (DIALLO A.)	Rapport Français	technique.
B/97/001 A	Campagne de mesures hydrologiques durant l'année 1996. Tome I : rapport de synthèse (DIALLO Amadou). Février 1997	Rapport Français	technique.
B/97/001 B	Campagne de mesures hydrologiques durant l'année 1996.	Rapport Français	technique.

	Tome II : recueil de données hydrométriques (DIALLO Amadou). Février 1997		
B/97/001 C	Campagne de mesures hydrologiques durant l'année 1996. Tome III : recueil de données pluviométriques (DIALLO Amadou). Février 1997	Rapport Français	technique.
B/97/002	Synthèse des données barrages et paramétrisation des courbes caractéristiques volume-débit (Moukoro Eric). Février 1997	Rapport Français	technique.
B/97/009	Bassin versant du Nakanbé. Rapport de consultation CES/DRS 1 ^{ère} partie : présentation et description de l'environnement physique et socio-économique. (BARRO Soma Etienne). Janvier 1997.	Rapport nationale. Français	de consultation
B/97/010	Bassin versant du Nakanbé. Rapport de consultation CES/DRS 2 ^e partie : bilan diagnostic des interventions en CES/DRS. (BARRO Soma Etienne). Janvier 1997.	Rapport nationale. Français	de consultation
A-97/001	SIGURE. Système d'Information Géographique pour l'utilisation des ressources en eau. Projet BKF/93/002 – Volet A. Eric S. TRAORE. Janvier 1997.	Rapport français.	technique –
---	Analyse diagnostique et méthodologie de l'application <<Cadre d'Atlas>> du Système d'Information Géographique pour l'utilisation des ressources en eau (SIFURE). Projet BKF/93/002. Rapport de consultation. BPR – Pierre Baril. Juillet 1997.	Rapport français.	technique –
---	Sous programme Eau et Développement Rural, Phase II. Rapport terminal. Conclusions et recommandations du projet. Draft. Projet DP/UN/BKF/93/002. Août 1997.	Rapport français.	technique –
---	Note sur : L'organisation des fichiers programmes et des fichiers de données liés à la modélisation du bassin du Nakanbé. (Desconnets J.C.) Ouagadougou. Novembre 1997	Note Français	technique -
----	Dossier sur la modélisation du bassin versant du Nakanbé à Bagé : Recueil des cartes et d'informations concernant les sous- bassins versants modélisés. (Desconnets J. C.). Ouagadougou . Décembre 1997	Rapport français.	technique –
---	Travaux de télédétection sur le bassin du Nakanbé : rapport de mission et d'apprentissage 'in situ'. EDR/MEE CESBIO Juillet 1999.	Rapport français.	technique –
---	Travaux de télédétection sur le bassin du Nakanbé : rapport de synthèse. EDR/MEE CESBIO Juillet 1999.	Rapport français.	technique –
---	Approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir de Ziga. Etudes détaillées. Rapport étude de l'hydrologie. Version définitive, annexe 8. Groupement LI LAHMEYER INTERNATIONAL/BERA .Mars 1996	Rapport français.	technique –

DOCUMENTATION DU BILAN D'EAU

IWACO. Ouagadougou

Etude du bilan d'eau au Burkina Faso : hydrologie des quatre bassins versants représentatifs : bilan des campagnes 1988 et 1989.

Ouagadougou, IWACO, DEP/EAU, 1990, 2 vol., p.m., fig., annexe

Mots-clés : Hydrologie ; Bilan hydrologique ; Bassin versant ; Burkina Faso

Cote du Centre de documentation : 05271

IWACO. Ouagadougou

Etude du bilan d'eau au Burkina Faso : vue d'ensemble de l'état de développement de BEWACO – Base de données du secteur eau

Ouagadougou, IWACO, 1988, 18 p., annexes, tabl.

Mots-clés : Bilan hydrologique ; Ressources en eau ; Banque de données; Burkina Faso

Cote : 04942

IWACO. Ouagadougou

Etude du bilan d'eau au Burkina Faso : liste des données pluviométriques mensuelles complétées jusqu'en 1987

Ouagadougou, IWACO, 1988, 213p., tabl ; ill.

Mots-clés : Bilan hydrologique ; Inventaire ; Ressources en eau ; Pluviométrie ; Banque de données; Burkina Faso

Cote : 04951

IWACO. Ouagadougou

Etude du bilan d'eau au Burkina Faso: manuel d'utilisation de la base de données BEWACO

Ouagadougou, IWACO, 1990, p. m.

Mots-clés : Bilan hydrologique; Ressource en eau ; Banque de données; Burkina Faso

Cote : 05249

IWACO. Ouagadougou

Etude du bilan d'eau au Burkina Faso: hydrochimie des eaux souterraines du Burkina Faso

Ouagadougou, IWACO ; 1990, 67p., fig., carte, réf.

Mots-clés : Bilan hydrologique; Politique de l'eau ; Bilan hydrologique; Hydrochimie de l'eau ; Analyse de l'eau Eau souterraine; Burkina Faso

Cote : 05461

IWACO. Ouagadougou

Etude du Bilan d'Eau au Burkina Faso : étude des quatre bassins versants expérimentaux au Burkina Faso.

Ouagadougou, IWACO ; 199, 5 vol., p. m. carte ill.

Mots-clés : Bilan hydrologique ; Bassin versant ; Dingasso ; Kazanga ; Barsalogo ; Tougou ; Kénédogou ; Sanmatenga ; Yatenga ; Zoudwéogo ; Burkina Faso

Cote : 05494.

DIRH/M.EAU.Ouagadougou

Réseau piézométrique au Burkina Faso : observation 1978-1993 et création du réseau national condensé

Ouagadougou, : Bilan d'Eau/DIRH, 1993, 26p.

Mots-clés : Bilan Hydrologique ; Gestion de réseau d'observation ; Réseau piézométrique ; Collecte de données ; Piézométrie ; Burkina Faso. Cote : 06101.

DOCUMENTS DE DIVERS AUTEURS

Banque Mondiale. Programme des Nations Unies pour le Développement. Banque Africaine de Développement. Ministère de la Coopération (1993) – Evaluation hydrologique de l'Afrique sub-saharienne, pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport de Pays : Burkina Faso. Mott MacDonald, BCEOM, SOGREAH, ORSTOM, Janvier 1993.

Ministère de l'Environnement et de l'Eau., DIRH (1997) – Projet <<Soutien à l'Optimisation du Réseau National>> (SPORN). Rapport n° 2. Etat d'avancement. Janvier 1996 – Février 1997. Plan annuel 97. Juin 1997.

Ministère de l'Environnement et de l'Eau., DIRH (1997) – Projet <<Soutien à l'Optimisation du Réseau National>> (SPORN). Rapport n° 3. Etat d'avancement. Janvier 1997 – Juin 1997. Septembre 1997.

Ministère de l'Environnement et de l'Eau (1996) – Gestion intégrée des ressources en eau au Burkina Faso. Proposition de projet. Version préliminaire. Ministère des Affaires Etrangères du Danemark. Danida réf. N° 104. Burkina Faso.xx. Septembre 1996.

Ministère de l'Eau. DRH des Hauts-Bassins (1994) – Etude des ressources en eau souterraines de la zone sédimentaire de la région de Bobo-Dioulasso. SOGREAH. Juillet 1994.

Ministère de l'Eau. DIRH (1993) – Etude du bilan d'eau au Burkina Faso. Aperçu hydrologique des eaux de surface du Burkina Faso. Juin 1993.

Ministère de l'Environnement et de l'Eau. SG/DGH (1996)- Inventaire des points d'eau modernes au Burkina Faso. Mai 1998.

A. NOMBRE (juin 1998) - Options stratégiques d'aménagement des eaux de surface du sud-ouest du Burkina. Rapport final. Programme RESO.

SP/RE/R50 (1998) - Diagnostic des ressources en eau du bassin versant du Mouhoun Supérieur - Programme RESO, SP/RE.

SP/RE/R51 (1998) - Diagnostic des ressources en eau du bassin versant de la Comoé- Programme RESO, SP/RE.

SP/RE (1998) - Diagnostic des ressources en eau du bassin versant du Mouhoun Inférieur - Programme RESO, SP/RE.

SP/RE/R50 (1998) - Diagnostic des ressources en eau du bassin versant du Banifing Programme RESO, SP/RE.

8 CARTES ET ANNEXES

Cartes

- Les zones d'intervention des DRH et les bassins nationaux
- Les bassins versants nationaux
- Le réseau hydrométrique national du Burkina Faso
- Les forages positifs et négatifs
- Les piézomètres
- Les débits estimés des forages
- La profondeur moyenne du niveau statique, par sous bassin versant
- L'épaisseur d'altération moyenne, par sous bassin versant
- L'épaisseur altérée saturée moyenne, par sous-bassin versant

[Annexe 1](#) : inventaire des données hydrométriques collectées par bassin versant national

[Annexe 2](#) : liste des stations hydrométriques du Nakanbé ss. de la base BEWACO

[Annexe 3](#) : liste des stations hydrométriques du Burkina Faso par bassin versant national de la base BEWACO

[Annexe 4](#) : tableau des débits moyens mensuels et des modules des stations étalonnées par bassin versant national de la base BEWACO

[Annexe 5](#) : Liste des stations pluviométrique du Burkina Faso de la base BEWACO

[Annexe 6](#) : liste des postes pluviométriques du Nakanbé ss. de la base BEWACO

[Annexe 7](#) : carte des bassins versants nationaux du Burkina Faso

[Annexe 8](#) : carte du réseau hydrométrique et des sous-bassins du Nakanbé ss.

[Annexe 9](#) : liste des stations hydrométriques du réseau national du Burkina Faso

[Annexe 10](#) : liste des stations hydrométriques du réseau national du Nakanbé ss.

[Annexe 11](#) : schéma de la banque de données de la DIRH

[Annexe 12](#) : schéma de la banque de données de l'ONEA

[Annexe 13](#) : schéma de la banque de données de la DGH

[Annexe 14](#) : liste des sites piézométriques du réseau primaire du Burkina Faso

[Annexe 14b](#) : liste des sites piézométriques du réseau primaire du Nakanbé ss.

[Annexe 15](#) : liste de 28 centres ONEA exploitant les eaux souterraines

[Annexe 15b](#) : liste des points d'eau souterraine exploités par l'ONEA sur le Nakanbé ss.