

ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER

RAPPORT DE STAGE

Analyse et modélisation des débits de la Komadougou Yobé dans sa partie nigérienne (1996-2008)

STAGE ELEVE INGENIEUR

TIDJANI OUSMANE Hamza

Du 1^{er} juillet au 31 août 2009

Organisme d'accueil : Institut de Recherche pour
le Développement (IRD)
276, Avenue de Maradi,
BP 11416, Niamey-Niger

Tuteur Polytech' : François Noel Crès

Maitre de Stage : Guillaume Favreau



Université Montpellier 2

Place Eugène Bataillon 34095 MONTPELLIER CEDEX 5

Tél : 04 67 14 31 60 – Télécopie 04 67 14 45 14

Courriel : scola@polytech.univ-montp2.fr

REMERCIEMENTS

Au terme de ces deux mois de stage à la représentation de l'IRD au Niger, je tiens à remercier du fond du cœur :

- M. Guillaume FAVREAU pour avoir accepté ma présence dans son équipe de recherche et m'avoir encadré tout au long de mon séjour ;
- M. Mathieu LE COZ pour son assistance dans la réalisation du stage et ses observations et suggestions pertinentes ;
- Mme Monique Oï pour son aide logistique et la mise à disposition d'une partie des données,
- M. Lawan Habou, ex-Directeur Régional Adjoint de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa pour m'avoir accordé un entretien, et avoir partagé un peu de son expérience sur les données de la Komadougou et m'avoir orienté sur d'autres sources ;
- M. Hachirou Abdou, de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa, pour son entrevue accordée ;
- M. Adrahman Daouda, Direction des Ressources en Eau du Ministère de l'Hydraulique du Niger, pour m'avoir accordé une entrevue ;
- La Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa
- Toute l'équipe de l'IRD - Niamey.

Par ailleurs tiens à remercier M. François-Noël Crès pour son accueil chaleureux à Montpellier et sa contribution inestimable dans la réussite de mon séjour au Polytech'Montpellier.

De même, Mme Sandra Durand, relation internationale Polytech'Montpellier nous a bien accueilli et assisté durant notre séjour. Elle en est ici remerciée.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	4
I- PRESENTATION DE L'IRD.....	5
1.1- Historique.....	5
1.2- Missions.....	5
1.3- Organisation.....	5
1.4- Représentation de l'IRD au Niger.....	5
1.4-1. <i>La recherche</i>	6
1.4-2. <i>L'Information et communication scientifique</i>	6
1.4-3. <i>Soutien et formation</i>	6
II- DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	7
2.1- Présentation de la rivière Komadougou Yobé.....	7
2.2- Climat et hydrologie.....	7
2.2-1. <i>Pluviométrie</i>	7
2.3- Température et évaporation potentielle	8
2.4- Hydrologie.....	8
2.5- Hydrogéologie.....	9
III- HYDROMETRIE DE LA KOMADOUGOU YOBÉ.....	9
I- ANALYSE CRITIQUE DES DONNEES	11
4.1- Limnimétrie	11
4.2- Jaugeages	12
4.3- Courbe de tarage	12
4.4- Les Débits	14
IV- MODELISATION ANALYTIQUE AMONT AVAL DES DEBITS.....	16
5.1- Présentation du modèle analytique	16
5.1-1. <i>Caractéristiques des tronçons</i>	16
5.1-2. <i>Mise en équation</i>	16
5.1-3. <i>Les paramètres standards</i>	17
5.2- Incertitude sur les courbes de tarage	18
5.3- Incertitude sur les surfaces inondées	19
5.4- Résultats et commentaire.....	19
CONCLUSION	22
BIBLIOGRAPHIE.....	23

LISTE DES TABLEAUX,

Tableau 1 : pluie annuelle (Com. Pers., DRH Diffa).....	8
Tableau 2 : Évaporation mensuelle sur bac classe A, 1951-1990 (Gaultier, 2004).	8
Tableau 3 : Caractéristiques des stations hydrométriques considérées.....	9
Tableau 4 : Disponibilité des données limnimétriques sur la période 1996-2008 (données considérées comme disponibles pour des lacunes < 50%)	11
Tableau 5 : Disponibilité des données limnimétriques	12
Tableau 6 : coefficients de corrélation des points de jaugeages.	13
Tableau 7 : débits caractéristiques exprimés en m^3/s	15
Tableau 8: caractéristique des débits mensuels	15
Tableau 9: Incertitudes estimées sur les débits pour chacune des stations	18
Tableau 10 : Infiltration entre Gaidam et Bagara (en m^3/an)	19
Tableau 11 : Infiltration entre Bagara et Gueskerou en (m^3/an)	19
Tableau 12 : Infiltration totale sur les deux tronçons (en m^3/an).....	19
Tableau 13 : Infiltration en $m^3/j/Km$	20
Tableau 14 : largeurs simulées à infiltration constante	20
Tableau 15 : infiltrations simulées à largeur constante	20

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le bassin versant du lac Tchad, d'une superficie de 2,5 M Km^2 (Modifié, d'après Le Coz et al., 2009).	7
Figure 2 : écoulement à Bagara et Gueskerou (1996-1997 et 1998-1999)	9
Figure 3 : Les stations de mesure considérées, reportées sur Image LandSat en date de 17/11/2000 (http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp).....	10
Figure 4 : Jaugeage à la station de Gueskéro par la DRH de Diffa en 2004 (photo G. Favreau).....	11
Figure 5 : graphique log-log des jaugeages sur les 3 stations de mesure	13
Figure 6 : ajustement des différentes courbes de tarage	14
Figure 7 : Caractéristiques d'écoulement pour l'année hydrologique 1996-1997, à compter du premier jour de l'écoulement	14
Figure 8 : Profil de la Komadougou estimé à partir de données SRTM 3"	16
Figure 9 : Analyse de l'incertitude associée aux courbes de tarage pour le site de Guediam Tchoukou	18
Figure 10 : Surfaces en eau discrétisées à pas d'espace de 2,3 km d'amont en aval sur la partie étudiée de la Komadougou.	21
Figure 11 : débits simulés vs débits observés entre Guediam Tchoukou et Gueskéro.....	21

INTRODUCTION

La Komadougou Yobé est une rivière transfrontalière d'Afrique de l'Ouest, partagée entre le Nigéria, où elle prend source, et le Niger, où elle fini son parcours au Lac Tchad. Elle irrigue la partie Sud-Est du Niger sur ses 150 derniers kilomètres et constitue alors la frontière naturelle avec le Nigéria.

Sur cette portion nigérienne, la Komadougou Yobé reste la principale ressource en eau de surface de la région. Elle permet l'irrigation de cultures maraîchères, principale activité économique de la zone, et elle est utilisée pour l'alimentation en eau domestique et du bétail. De plus, la pêche artisanale y est largement développée.

Bien que très sollicitée, cette ressource partagée, en milieu semi-aride, demeure limitée. En effet la Komadougou Yobé est une rivière temporaire, qui ne s'écoule en moyenne (1957-2008) que 8 mois durant l'année. La Komadougou Yobé constitue donc une ressource en eau cruciale pour l'ensemble de la région.

C'est pourquoi des nombreuses études et recherches ont été conduites sur cette rivière depuis les années 1960, notamment par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), devenu Institut de Recherches pour le Développement (IRD). Le stage d'été, objet de ce rapport, a été réalisé dans une équipe de recherche de l'IRD de Niamey (Niger).

Ce stage intervient dans le cadre de la formation Master en Ingénierie de l'eau 2IE Ouagadougou (Burkina-Faso) (Ex EIER) avec séjour d'une année en Sciences et Technologie de l'Eau (STE4) au Polytech'Montpellier (Université de Montpellier 2).

Pendant deux mois, nous avons, sous l'encadrement de Guillaume Favreau, traité des données hydrologiques issues des trois stations de jaugeage sur la partie nigérienne de la Komadougou Yobé, données acquises sur la période de 1996 à 2008. La durée du stage ne permettant pas de se rendre sur le terrain (stations situées à près de 1500 km à l'est de Niamey), nous nous sommes contentés d'utiliser les données acquises par la Direction Régionale de l'Hydraulique (DRH) de Diffa.

Dans un premier temps, une analyse critique de ces données a été réalisée. Une modélisation analytique amont-aval des débits en vue d'estimer les pertes par infiltration le long de cours d'eau a ensuite été proposée. L'objectif principal de ce travail a consisté à estimer l'incertitude existant sur les volumes infiltrés de la rivière vers l'aquifère, ainsi que sur leur répartition amont-aval.

I- PRESENTATION DE L'IRD

1.1- Historique

L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) est un institut français de recherche scientifique créé en octobre 1943 sous le nom d'Office de la Recherche Scientifique Coloniale (ORSC).

Entre 1944 et 1953, l'Office change deux fois d'appellation, tout d'abord " Orsom " (Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer) puis " Orstom " (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) qui est rattaché au ministère de la France d'outre-mer.

L'office fera ensuite l'objet des nombreuses réformes dont celle de juin 1984 qui lui confère le statut d'Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) avec pour mission la promotion et la réalisation des recherches scientifiques et techniques susceptibles de contribuer de façon durable au progrès économique, social et culturel des pays en développement. Il prend alors pour nom "d'Institut français de Recherche Scientifique et Technique pour le développement en coopération " tout en conservant l'acronyme d'ORSTOM.

En 1998, l'ORSTOM change d'appellation et devient "l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) "

1.2- Missions

L'IRD conduit des programmes scientifiques centrés sur les relations entre l'homme et son environnement dans les pays du Sud (en Afrique, Amérique Latine, Asie et dans l'Outre-mer tropical français), dans l'objectif de contribuer à leur développement. Il remplit les missions fondamentales suivantes :

- La Recherche : coordonnée par trois départements scientifiques, à savoir le Département Milieux et Environnement (DME), le Département Ressources Vivantes (DRV) et le Département Sociétés et Santé (DSS)
- Expertise et Valorisation : transfert des résultats et valorisation des savoir-faire.
- Soutien et Formation : accompagner les partenaires dans leur développement et favoriser leur autonomie.
- Information scientifique : assurer l'accès à une information scientifique de qualité aux chercheurs, accroître sa visibilité et sa lisibilité sur la scène nationale et internationale et favoriser le débat entre la science et la société.

1.3- Organisation

L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) rassemble plus de 800 chercheurs et 400 ingénieurs et techniciens au service de la recherche dans 66 unités de recherche ou de service. Pour un budget de ~200 millions d'euros, l'Institut compte 4 implantations en France Métropolitaine, 5 dans les territoires ou collectivités de l'Outre-mer tropical français et 25 dans des pays du Sud, dont le Niger.

1.4- Représentation de l'IRD au Niger

Les premières activités de l'IRD (alors ORSTOM) au Niger remontent à 1957. Les vingt premières années ont été principalement consacrées à l'hydrologie. Depuis 1970,

le champ des recherches s'est élargi à d'autres thèmes comme la sociologie, la génétique, l'écologie, l'archéologie, etc.

1.4-1. La recherche

La représentation de l'IRD au Niger a un effectif d'une trentaine de personnes, dont :

- ✓ Une dizaine de chercheurs/ingénieurs/techniciens de recherche expatriés,
- ✓ Une vingtaine d'employés locaux permanents.
- ✓ Une dizaine de stagiaires ou de thésards.

Les activités de ces chercheurs sont menées en partenariat avec différentes institutions, implantées à Niamey, qu'elles soient nationales (Université Abdou Moumouni, l'INRAN, la Direction de la Météorologie, la Direction des Ressources en Eau, la DFPP) et internationales (le centre AGRHYMET, l'ACMAD, l'ABN, l'ICRISAT). 36 chercheurs/ingénieurs locaux sont ainsi partie prenante des travaux de recherche de l'IRD.

Les thématiques de recherche de l'IRD au Niger sont :

- les ressources en eau
- le climat
- la conservation des espèces menacées dans la réserve de l'Aïr-Ténéré
- l'érosion des sols cultivés
- la génétique du mil
- la gestion par l'homme des ressources naturelles

1.4-2. L'Information et communication scientifique

La représentation de l'IRD au Niger est à la fois un lieu de production scientifique, de veille technologique et de diffusion de l'information scientifique. Elle offre de nombreux services dans ce domaine à ses chercheurs et à ses partenaires.

1.4-3. Soutien et formation

La formation de chercheurs nationaux et le soutien aux initiatives des scientifiques nigériens représentent l'une des priorités de l'IRD au Niger. Ainsi de nombreuses bourses ont été allouées par l'IRD au titre d'échanges scientifiques ou de doctorats.

L'IRD a aussi contribué à la création d'un laboratoire de recherche en sciences sociales : Le LASDEL (Laboratoire de Recherches sur les Dynamiques Sociales et le Développement Local). Le programme AIRE-Développement, géré par l'IRD soutient également deux équipes de recherche de l'Université de Niamey (UAM).

II- DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

2.1- Présentation de la rivière Komadougou Yobé

La Komadougou Yobé est un cours d'eau situé dans la partie Sud-Est du Niger, dans la région de Diffa à environ 1500 Km de Niamey, la capitale. C'est une rivière transfrontalière avec le Nigéria, où elle prend source et s'y écoule en grande partie.

D'une longueur totale d'environ 1200 km, la Komadougou Yobé ne touche le Niger que sur sa partie inférieure, sur environ 150 km où elle constitue l'une des frontières avec le Nigéria, avant d'atteindre le Lac Tchad. Son bassin versant, de forme allongée et d'une superficie de 135 000 Km², se situe entre longitudes 7°25'E et 13°25'E et les latitudes 9°55'N et 13°45'N.

A plus large échelle, il fait partie du bassin versant de Lac Tchad, qui constitue une ressource en eau partagée entre le Niger, le Nigéria, le Tchad et le Cameroun ; la Komadougou Yobé en constitue le seul tributaire actif occidental.

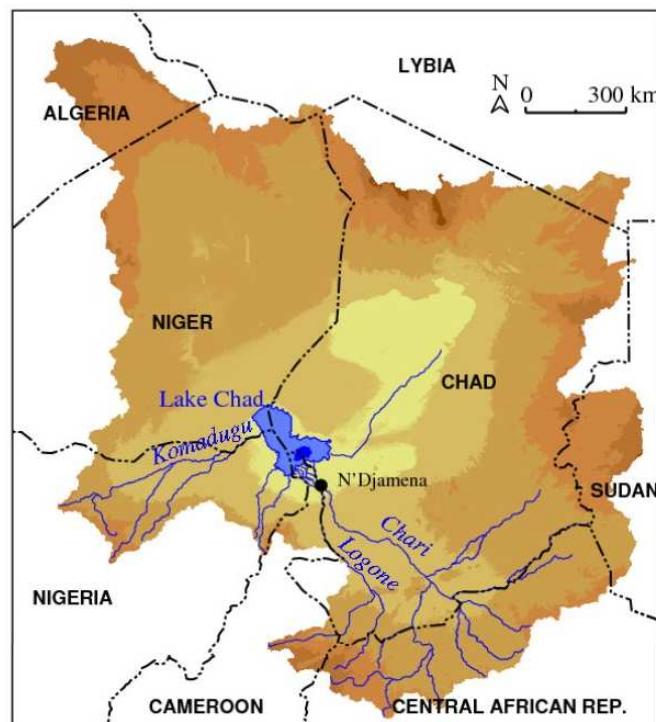


Figure 1 : Le bassin versant du lac Tchad, d'une superficie de 2,5 M Km² (Modifié, d'après Le Coz et al., 2009).

2.2- Climat et hydrologie

2.2.1. Pluviométrie

Le plateau de Jos au Nigéria où la Komadougou Yobé prend source est une zone humide de pluviométrie annuelle supérieure à 1000 mm en moyenne. Plus en aval, la partie nigérienne se situe dans une zone semi-aride (sahélienne) de pluviométrie très faible. Des chroniques de précipitations issues des stations pluviométriques nigériennes

proche de la Komadougou Yobé, montrent une forte variabilité interannuelle. En périodes récentes, de 2004 à 2008, la pluviométrie annuelle varie de 229 mm à 504 mm à Diffa. Le nombre de jours pluvieux par an est d'environ 23 jours, repartis sur 3 à 4 mois.

Tableau 1 : pluie annuelle (Com. Pers., DRH Diffa)

Poste pluviométrique	2004	2005	2006	2007	2008
Diffa	229,40	302,9	265,4	504,5	290,7
Gueskéro	247,10	297,2	273,6	432,7	259,1
Chétimari	274,90	361,9	293,7	417,1	352,8

2.3- Température et évaporation potentielle

Dans la région de Diffa, la température varie suivant les saisons. Sur l'année, un maximum en avril-mai et un minimum en décembre-janvier sont observés. Les températures extrêmes sont de ~40°C pour le maximum et de ~12°C pour le minimum.

L'évaporation est estimée à partir de bacs à évaporation de type « classe A » aux stations de Maïné Soroa et de N'Guigmi, situées à proximité de la vallée nigérienne de la Komadougou Yobé dans ses parties respectivement amont et aval. Avec un cumul annuel d'environ 2402 mm à N'Guigmi et de 2387 mm à Mainé Soroa, l'évaporation est de 7 à 11 fois aux précipitations annuelles dans la région (Gaultier, 2004).

Tableau 2 : Évaporation mensuelle sur bac classe A, 1951-1990 (Gaultier, 2004).

	Evaporation (mm)											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Mainé Soroa	172	185	240	242	244	220	185	160	170	212	185	172
N'Guigmi	171	182	232	235	235	220	202	175	182	203	180	170

2.4- Hydrologie

Dans sa partie nigérienne, la Komadougou Yobé est naturellement temporaire et ne reçoit aucun affluent. Elle reste la principale ressource en eau de surface de la zone. Son écoulement s'étale sur 8 mois en moyenne par an. De juillet à septembre, période pluvieuse, le débit augmente très rapidement, puis plus lentement jusqu'en novembre, où il atteint son maximum. Il décroît ensuite rapidement pour s'annuler en février. Ce régime hydrologique présente cependant une forte variabilité interannuelle en fonction de la pluviométrie et des écoulements sur la partie amont du bassin versant.

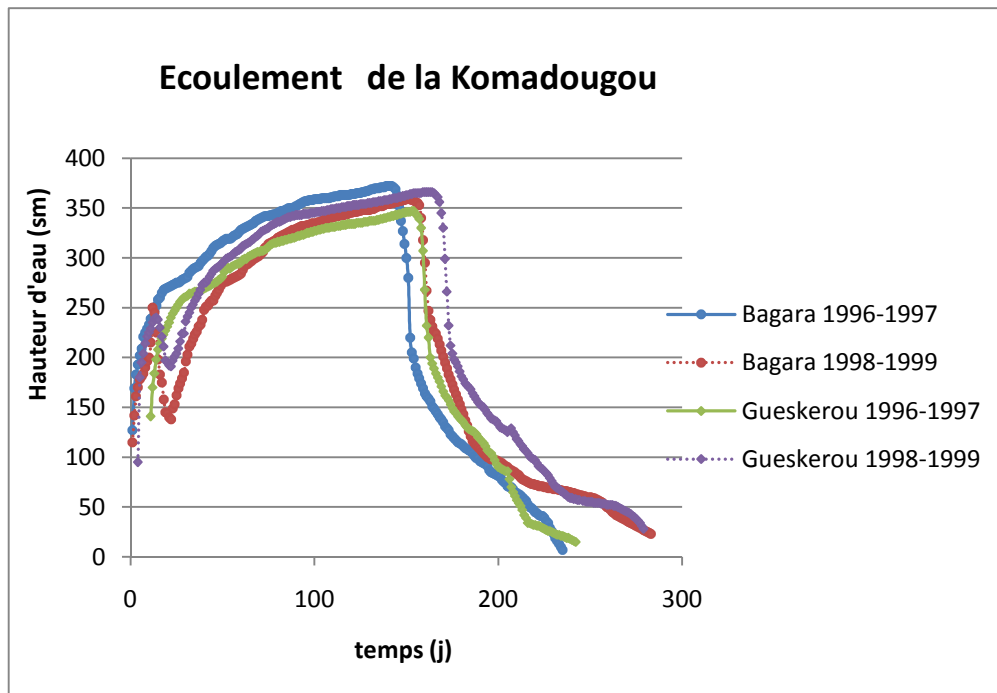


Figure 2 : écoulement à Bagara et Gueskerou (1996-1997 et 1998-1999)

2.5- Hydrogéologie

Sur la partie nigérienne du bassin de la Komadougou Yobé, le sous-sol est constitué d'un empilement de lentilles argilo-sableuses d'âge quaternaire, sur une centaine de mètres d'épaisseur. La nappe phréatique, contenue dans cette formation aquifère, est en relation hydraulique avec la rivière qui l'alimente par infiltration (Olivry, 1996).

La nappe phréatique est la principale ressource en eau permanente de la région. L'inventaire hydraulique de 1992 montre que 66% des besoins en eau de la région Diffa est couvert par l'eau souterraine à travers des puits et forages (DRH Diffa, com. pers).

III- HYDROMETRIE DE LA KOMADOUGOU YOBÉ

Sur sa partie nigérienne, les mesures hydrométriques sur la Komadougou Yobé sont effectuées par la DRH de Diffa. Trois stations hydrométriques sont fonctionnelles sur la période d'étude : ce sont les stations de Gueïdam Tchoukou, Bagara et Gueskéroù.

Tableau 3 : Caractéristiques des stations hydrométriques considérées

	Gueïdam Tchoukou	Bagara	Gueskéroù
Date de création	1957	1957	1989
Longitude (E)	12°30'	12°36'	12°51'
Latitude (N)	13°05'	13°17'	13°29'

Altitude (Delclaux, 2004)	308,6 m	298 m	293 m
Bassin versant	110.000 Km ²	115.000 Km ²	120.000 Km ²
Echelle	4 éléments de 1m	4 éléments de 1m	4 éléments de 1m
Distance intermédiaire		57 Km	75 Km

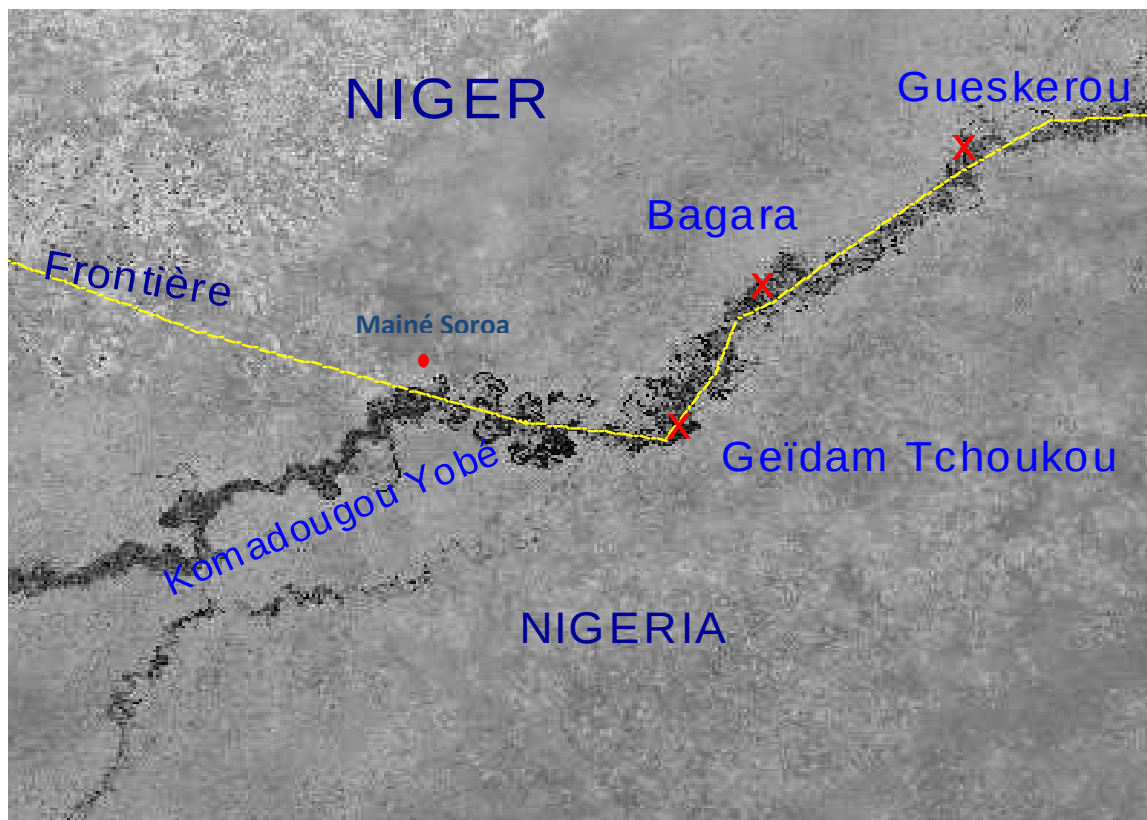


Figure 3 : Les stations de mesure considérées, reportées sur Image LandSat en date de 17/11/2000 (<http://qlcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>)

Les principales mesures qu'effectue la DRH de Diffa sur les stations sont des hauteurs lues journalières ainsi que des jaugages périodiques.

Pour le jaugage, La méthode d'exploration de champs de vitesse au saumon est appliquée. Cette méthode consiste à déterminer la vitesse d'écoulement en différents points de la section, tout en mesurant les dimensions de la section mouillée correspondante. Les débits sont ensuite calculés, après intégration de vitesse, par combinaison avec la géométrie. Les données en hauteur-débit sont alors recueillies à l'issue des jaugages.

Les hauteurs moyennes journalières sont quant à elles relevées quotidiennement sur les éléments d'échelles limnimétriques des stations.



Figure 4 : Jaugeage à la station de Gueskéroou par la DRH de Diffa en 2004 (photo G. Favreau)

Une analyse critique des données de 1996 à 2008, soit douze périodes d'écoulement de la Komadougou Yobé, a été réalisée.

I- ANALYSE CRITIQUE DES DONNEES

4.1- Limnimétrie

La modélisation analytique amont-aval, concernera les années hydrologiques pour lesquelles des données limnimétriques sont disponibles pour les trois stations hydrométrique, à savoir 1996-1997 et 1998-1999 (Tableau 4).

Tableau 4 : Disponibilité des données limnimétriques sur la période 1996-2008 (données considérées comme disponibles pour des lacunes < 50%)

	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08
Gueïdam	OUI	NON	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Bagara	OUI	NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Gueskéroou	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON

Les périodes disponibles présentant des lacunes ont fait l'objet de corrections. Lorsque les données manquantes ne dépassent pas 5 jours sur l'année, une interpolation linéaire a été réalisée. Une corrélation entre station a été recherchée pour effectuer une régression linéaire, exponentielle ou logarithmique selon le cas, pour compléter les données manquantes sur des périodes plus longues.

4.2- Jaugeages

Il est à noter que les 3 stations ne font pas l'objet de jaugeages à chaque période d'écoulement. Dans le souci d'avoir suffisamment de données et pour détecter les éventuels détarrages des stations, toutes les données de jaugeage disponibles depuis 1984 ont été utilisées dans l'établissement des courbes de tarage synthétiques.

Tableau 5 : Disponibilité des données limnimétriques

Station	Période	Nombre de jaugeage	Période	Nombre de jaugeage
Gueïdam Tchoukou	1996-1997	12	-	-
	1997-1998	13	-	-
Bagara	1987-1993	34	1997-1998	13
	1996-1997	13	2003-2004	12
Gaeskerou	1987-1993	14	1997-1998	13
	1996-1997	13	2003-2004	11

Une analyse de la répartition des points de jaugeage suivant les périodes a été faite. Ainsi les données semblables permettent l'établissement d'une courbe commune et des courbes différentes peuvent être établies le cas échéant.

4.3- Courbe de tarage

Régit par la norme ISO 1100/2 intitulée « détermination de la relation hauteur-débit » (<http://www.iso.org/iso/fr>), l'établissement des courbes de tarage reste la phase délicate du processus de calcul des débits et la source d'innombrables erreurs vu l'usage obligé de ces courbes dans la transformation des hauteurs limnimétriques en débits. Pour cela, les données hauteur-débit issues des différents jaugeages sur les 3 stations ont été utilisées pour l'élaboration de chacune des courbes. Ne disposant pas d'informations suffisantes sur l'historique des stations et le déroulement des jaugeages, les erreurs liées à l'établissement des courbes de tarages ont été estimées lors du paramétrage du modèle.

L'étape primordiale de traçage des courbes de tarages est la recherche d'une fonction correspondante. Pour cela les points des jaugeages sont reportés sur des graphiques arithmétiques, logarithmique, semi-logarithmique pour détecter l'ajustement le plus pertinent.

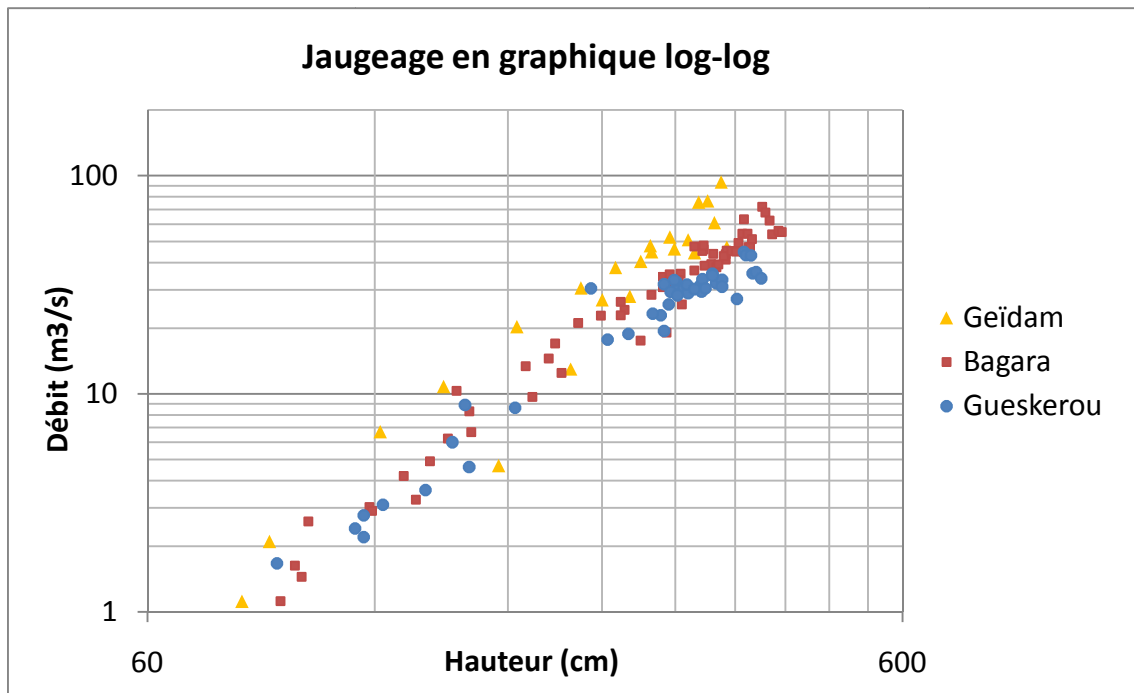


Figure 5 : graphique log-log des jaugeages sur les 3 stations de mesure

Les points de jaugeage reportés sur graphique log-log sont sensiblement alignés. Ainsi la relation classique des courbes de tarage de la forme $Q = a \times H^b$ a été retenue pour les différents sites. En passant au logarithme népérien et un changement de variable on obtient l'équation d'une droite linéaire

$$Q = a \times H^b \quad (1)$$

$$\log(Q) = \log(a) + b \times \log(H) \quad (2)$$

$$\alpha = \ln(a) \text{ et } \beta = b$$

$$Q = \alpha + \beta \times H \quad (3)$$

Une régression linéaire est faite sur les données pour déterminer les coefficients α et β puis « a » et « b » ainsi que les coefficients de corrélation pour les différentes stations.

Tableau 6 : coefficients de corrélation des points de jaugeages.

Coefficient	Gueïdam Tchoukou	Bagara	Gueskéro
a	$6,2433.10^{-6}$	$3,3518.10^{-6}$	$5,3176.10^{-5}$
b	2,7878	2,8151	2,2973
R ²	0,9569	0,9542	0,9549

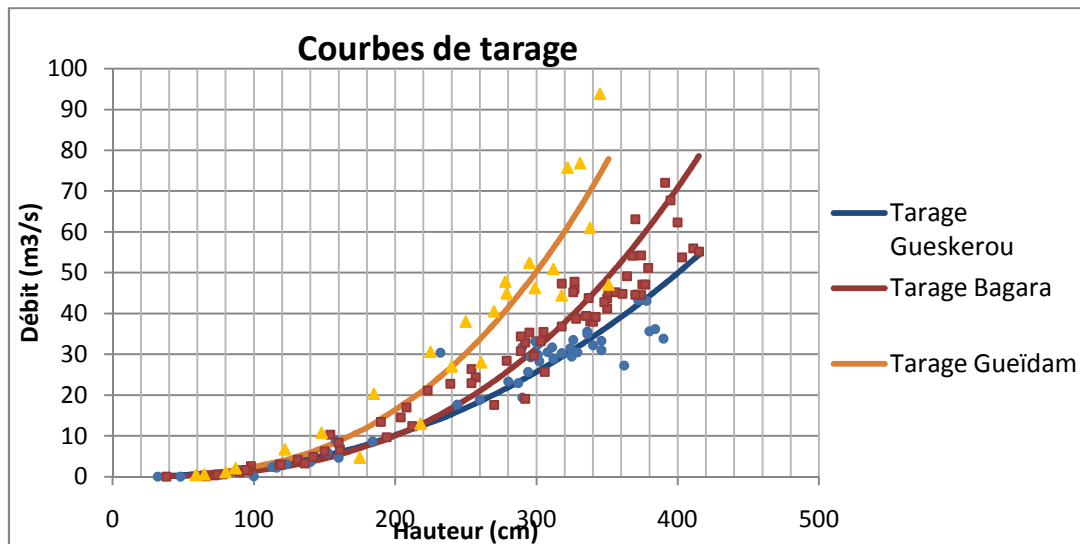


Figure 6 : ajustement des différentes courbes de tarage

4.4- Les Débits

A l'issue de l'établissement des courbes de tarage, les hauteurs moyennes journalières disponibles ont été converties en débits.

La description des débits se fera sur les deux périodes concernées par la modélisation analytique à savoir 1996-1997 et 1998-1999.

Débit journalier

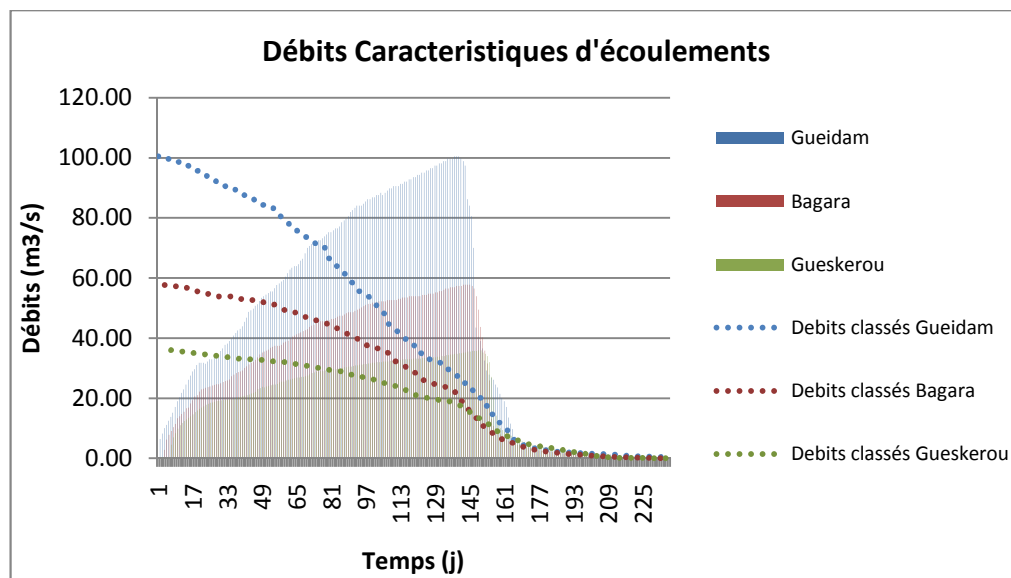


Figure 7 : Caractéristiques d'écoulement pour l'année hydrologique 1996-1997, à compter du premier jour de l'écoulement

Tableau 7 : débits caractéristiques exprimés en m³/s

	1996-1997			1998-1999		
	Gueïdam	Bagara	Gueskerou	Gueïdam	Bagara	Gueskerou
DCM	98,93	56,89	35,25	98,14	67,41	40,42
DC1	91,29	53,91	33,38	92,04	63,62	38,65
DC3	58,80	39,83	29,89	61,64	50,23	33,38
DC6	2,71	2,02	2,98	6,73	5,00	6,92
DC7	1,29	0,41	0,15	1,60	1,51	2,43
DC8	0,00	0,00	0,00	0,77	0,36	0,55
DC9	0,00	0,00	0,00	0,14	0,18	0,24
DCE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

DCM : Débit caractéristique maximal dépassé 10 jours par an

DCx : Débit caractéristique d'un mois, dépassé 30 jours par an

DC3 : Débit caractéristique de 3 mois, dépassé 90 jours par an

DC6 : Débit caractéristique de 6 mois, dépassé 180 jours par an

DC9 : Débit caractéristique de 9 mois, dépassé 270 jours par an

DCE : Débit caractéristique d'étiage, dépassé toute l'année

Bien que les débits caractéristiques maximaux soient proches sur les deux périodes, la période 1998-1999 correspond à une année hydrologique relativement longue car les écoulements ont persisté 9 mois contre 7 pour la période 1997-1998.

En période de décrue, les débits aval sont le plus souvent supérieurs aux débits amont. Une explication réside en la réalimentation inverse de la Komadougou Yobé. En effet, en période de crue, les bras-morts de la rivière se remplissent au fur et à mesure et la nappe phréatique se recharge. En décrue, ces bras-morts se vidangent progressivement dans le lit principal et la nappe peut alimenter, pour partie, le lit mineur (phénomène de déstockage des berges). Ce phénomène pourrait expliquer l'enregistrement des débits plus faible en amont alors que la pluviométrie de la zone s'arrête deux mois avant la phase de décrue. Une étude poussée sur le régime de la Komadougou Yobé pourra apporter plus de détail, au delà du cadre de ce travail

Débits mensuels:

Tableau 8: caractéristique des débits mensuels

	1996-1997			1998-1999		
	Maximum		Moyen	Maximum		Moyen
	Valeur	Mois		Valeur	Mois	
Gueïdam	88,6	Octobre	41,4	96,5	Novembre	42,9
Bagara	54,8	Novembre	26,2	65,3	Novembre	31,5
Gueskerou	43,5	Novembre	17,9	38,8	Novembre	21,7

Bien que la durée de la crue soit significativement différente, les débits maximums mensuels à Bagara et à Gueskerou sont observés en novembre. Le maximum à la station de Gueïdam ce produit cependant un mois plus tôt pour la période 1996-1997.

IV- MODELISATION ANALYTIQUE AMONT AVAL DES DEBITS

5.1- Présentation du modèle analytique

Le modèle analytique se base sur un bilan amont-aval de flux entre deux stations. Pour cela deux tronçons sont considérés, à savoir Gueïdam-Bagara et Bagara-Gueskerou.

5.1-1. Caractéristiques des tronçons

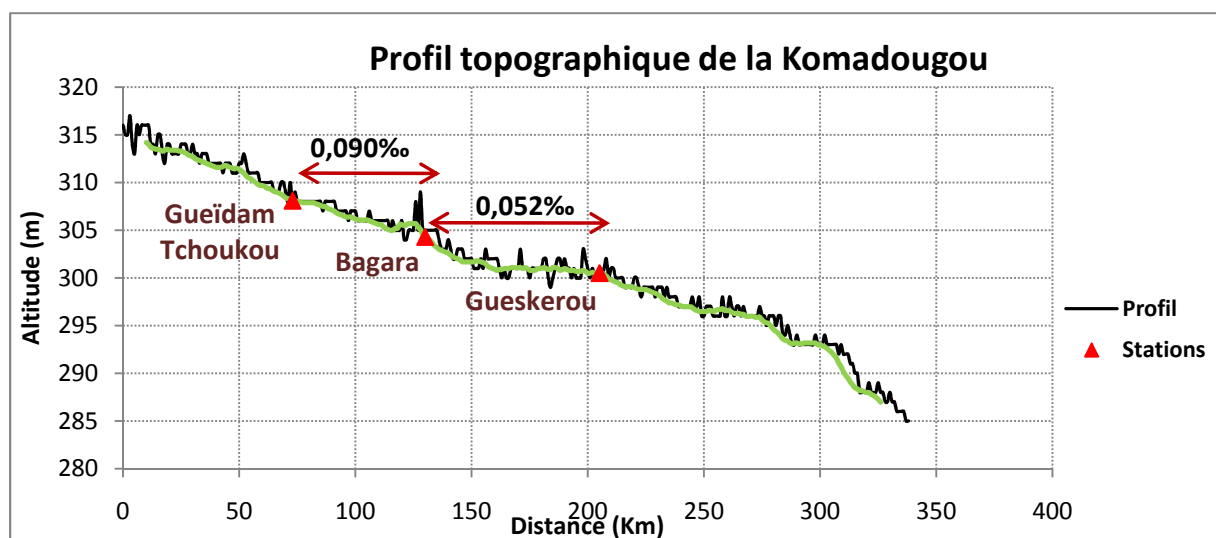


Figure 8 : Profil de la Komadougou estimé à partir de données SRTM 3"

Les distances estimées par données satellitales entre stations sont de 57Km pour Gueïdam Tchoukou - Bagara et de 75 Km pour Bagara - Gueskerou. Pour ces tronçons, les pentes moyennes du lit mineur sont respectivement de 0,090 ‰ et 0,052 ‰.

Le lit de la Komadougou présente de fortes sinusoïdes dans cette partie et comporte de nombreux bras-morts inondables en période de crue.

5.1-2. Mise en équation

Le bilan global sur chaque tronçon est :

Entrée – sortie + apports = évaporation + prélèvement + dynamique des bras + infiltration

- **Entrée** : débit observé à la station amont du tronçon
- **Sortie** : débit observé à la station aval du tronçon

- **Les apports** : c'est l'apport de pluie sur le tronçon. Ce débit sera négligé face au débit entrant.
- **L'évaporation** : c'est le débit évaporé sur la surface inondée du tronçon ;
- **Les prélèvements directs** : il s'agit du débit prélevé par les riverains. Ce prélèvement est négligeable face au débit qui transit.
- **dynamique des bras-morts** : c'est le remplissage et vidange au fil du temps des bras morts de la rivière. Cette dynamique sera négligée.
- **L'infiltration** : c'est l'inconnu du modèle. Elle sera estimée sur le lit principal du cours d'eau où l'infiltration est concentrée;

Ainsi, le bilan peut s'écrire :

$$\text{Entrée} - \text{sortie} + \text{apports} = \text{évaporation} + \text{infiltration} + \text{prélèvement} + \text{dynamique des bras}$$

$$\text{Entrée} - \text{sortie} = \text{infiltration} + \text{évaporation}$$

$$(Q_e - Q_s) = \Delta Q = \text{inf} \times S_{\text{inf}} + \text{ev} \times S_{\text{ev}} \quad (4)$$

Q_e : Débit entrant (m^3/j)

S_{inf} : Surface infiltrante (m^2)

Q_s : Débit sortant (m^3/j)

S_{ev} : Surface évaporante

inf : infiltration (m/j)

(m^2)

ev : évaporation (m/j)

$$\text{inf} (\text{mm}) = \frac{\Delta Q - \text{ev} \times S_{\text{ev}}}{S_{\text{inf}}} \quad (5)$$

$$\text{inf} (\text{m}^3/\text{s}) = \Delta Q - \text{ev} \times S_{\text{ev}} \quad (6)$$

L'infiltration est supposée concentrée sur le lit mineur et l'évaporation sur la partie inondée.

Lorsque, en simulation, la surface inondée est prise égale à la surface du plan d'eau, on aura : $S_{\text{inf}} = S_{\text{ev}} = S$

$$\Delta Q = S (\text{inf} + \text{ev}) \quad (7)$$

5.1-3. Les paramètres standards

- Les courbes de tarages : elles permettent de déterminer Q_e et Q_s à partir des relevés limnimétriques. Les courbes établies dans la section ?? sont utilisées.
- La surface inondable : elle permet, avec la longueur du tronçon (connue), d'estimer les largeurs des tronçons. Des estimations peuvent être proposées à partir d'informations de terrain et satellitaires..

5.2- Incertitude sur les courbes de tarage

Des courbes de tarage théoriques ont été établies à partir des points expérimentaux de jaugeage, via un ajustement minimisant les erreurs. La distribution des ces erreurs minimales potentielles a ainsi pu être tracée

Les erreurs minimales potentielles ont ensuite été appliquées aléatoirement aux points expérimentaux pour obtenir des nuages de points corrigés. Ceux-ci ont été utilisés pour obtenir, par ajustement, une nouvelle courbe de tarage théorique. Cette opération a été répétée 10^3 fois à l'aide d'un programme SCILAB pour obtenir un faisceau courbes de tarage corrigées.

Pour le site de Gueïdan Tchoukou par exemple, on obtient la fréquence des erreurs cumulées et le faisceau de courbes ajustées ci-dessous.

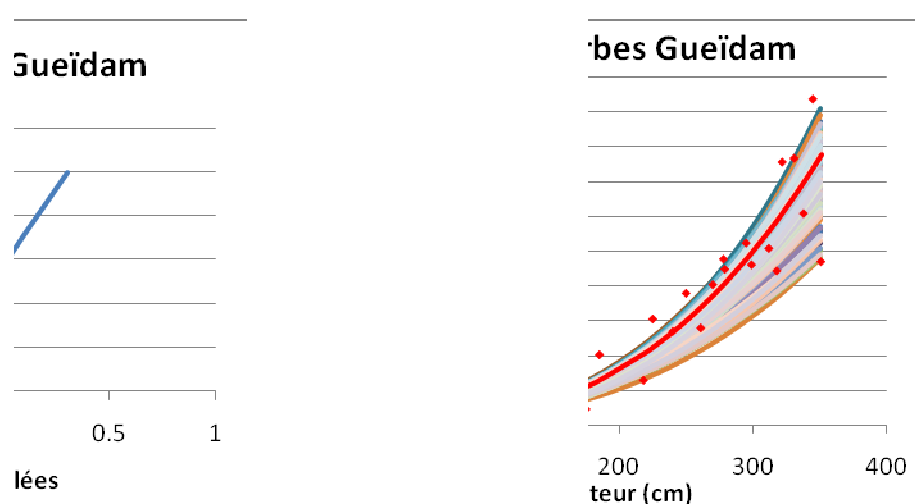


Figure 9 : Analyse de l'incertitude associée aux courbes de tarage pour le site de Gueïdam Tchoukou

Pour estimer les incertitudes liées aux courbes des tarages, la gamme comprenant 66% des courbes les plus probables a été recherchée. Les deux courbes extrêmes permettent de calculer, pour chaque hauteur limnimétrique relevée, deux débits extrêmes.

Tableau 9: Incertitudes estimées sur les débits pour chacune des stations

	Gueïdam	Bagara	Geskerou
1996-1997	±23%	±12%	±19%
1998-1999	±22%	±12%	±20%
Moyenne	±22,5%	±12%	±19,5%

5.3- Incertitude sur les surfaces inondées

La surface inondée étant variable, une simulation est faite sur une plage de surface maximale, minimale et moyenne. La surface maximale est celle obtenue par seuillage du canal moyen infrarouge d'une scène Landsat acquise durant un pic de crue. La surface minimale correspond au produit de la longueur du tronçon et de la largeur minimale de la plaine d'inondation, estimée à 100 m.

Une simulation de débit est faite au pic de crue en fonction de la surface inondée maximale discrétisée sur un pas de 2,3 km (discrétisation déterminée par la résolution de l'image).

5.4- Résultats et commentaire

Tableau 10 : Infiltration entre Gaidam et Bagara (en m³/an)

	Surface minimum	Surface maximum	Surface moyenne
Courbe de tarage supérieure	295 381 599	228 528 088	261 994 308
Courbe de tarage inférieure	52 418 744	< 0	19 031 454
Courbe ajustée	172 827 915	105 974 404	139 440 624

Tableau 11 : Infiltration entre Bagara et Gueskerou en (m³/an)

	Surface minimum	Surface maximum	Surface moyenne
Courbe de tarage Supérieure	260 447 248	226 415 617	243 483 469
Courbe de tarage inférieure	131 142 845	97 111 215	114 179 066
Courbe ajustée	144 624 589	119 681 900	139 593 910

Tableau 12 : Infiltration totale sur les deux tronçons (en m³/an)

	Surface minimum	Surface maximum	Surface moyenne
Courbe de tarage Supérieure	555 828 847	454 943 705	505 477 777
Courbe de tarage inférieure	183 561 589	97 111 215	133 210 520
Courbe ajustée	317 452 504	225 656 304	279 034 534

Les volumes infiltrés annuels, calculés avec les courbes de tarage supérieures et inférieures, présente un écart de $\pm 50 \%$.

Inversement, si on retient la courbe ajustée et qu'on regarde les surfaces inondées extrêmes, l'écart de volume infiltré est de $\pm 17\%$.

En revanche la surface inondable considérée joue de manière nettement moins significative sur le bilan. Les courbes de tarages ajustées sont donc à prendre avec des réserves sur l'historique des stations.

Tableau 13 : Infiltration en m³/j/Km

	Surface minimum	Surface maximum	Surface moyenne
Gueidam – Bagara	12 686	7 779	10 236
Bagara – Gueskerou	8 893	6 677	7 788

Rapportés au Km, les volumes infiltrés sur le tronçon Gueidam-Bagara sont nettement plus grands que ceux du tronçon Bagara-Gueskerou bien que celui-ci soit plus long avec 75 Km contre 57 Km pour le premier. Cela peut être dû soit à une plaine d'inondation plus grande au premier tronçon soit à une plus grande capacité d'infiltration du fond du lit mineur sur ce tronçon.

Tableau 14 : largeurs simulées à infiltration constante

Tronçon	Infiltration		Largeur d'inondation
	mm/j	m ³ /j/km	
Gueïdam-Bagara	168	8 400	Gueïdam-Bagara
Bagara-Gueskéroù	168	8 400	Bagara-Gueskéroù

Tableau 15 : infiltrations simulées à largeur constante

Tronçon	Largeur (m) évaporation)	Infiltration ajustée	
		mm/j	m ³ /j/km
Gueïdam-Bagara	500	207	10 369
Bagara-Gueskéroù	500	132	6 604

Les tableaux ci-dessus montrent effectivement qu'à infiltration égale, la plaine d'inondation doit être plus large sur le tronçon Gueidam – Bagara que sur le tronçon Bagara – Gueskerou. Au contraire, en supposant une plaine d'inondation de largeur constante, l'infiltration doit être plus importante sur le tronçon Gueidam – Bagara que Bagara – Gueskerou...

La simulation au pic de crue ,en considérant la surface inondée correspondante obtenue à partir de l'analyse de la scène Landsat, a permis de calculer les débits intermédiaires sur chaque pas d'espace via le calage de l'infiltration sur chacun des deux tronçons.

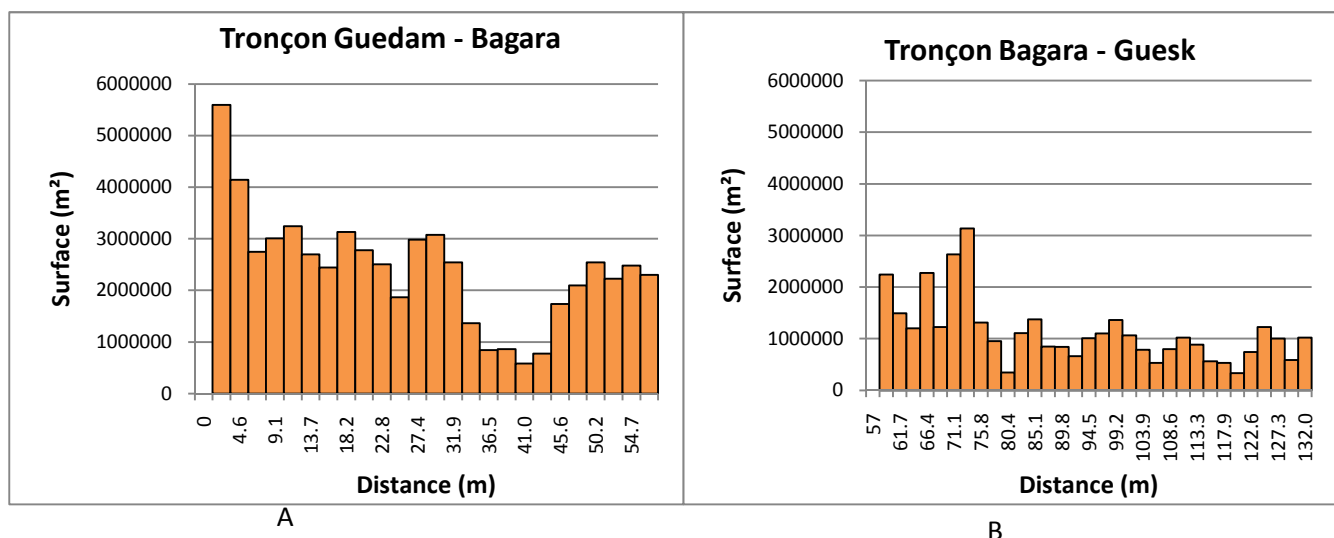


Figure 10 : Surfaces en eau discrétisées à pas d'espace de 2,3 km d'aval en aval sur la partie étudiée de la Komadougou.

Le débit observé le 24 novembre 1996 (pic de crue) à la station de Bagara est simulé avec le modèle pour une infiltration de 607 mm/j sur le tronçon Guéïdam - Bagara.

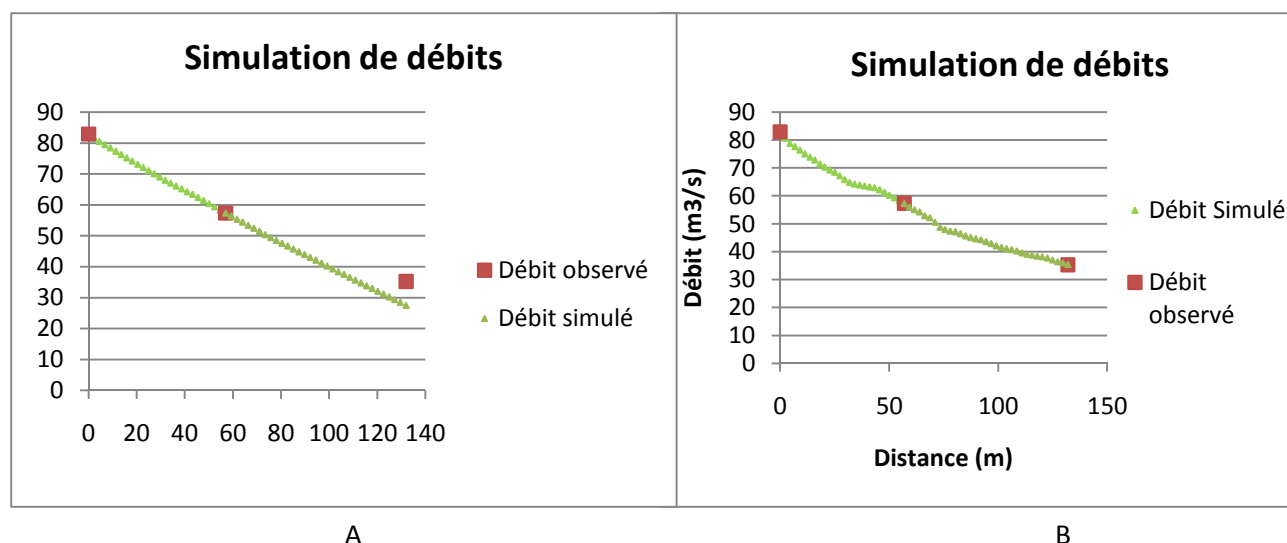


Figure 11 : débits simulés vs débits observés entre Guediam Tchoukou et Gueskérou

Pour la même infiltration, le débit simulé à Bagara sur le tronçon Bagara-Gueskerou est de 27,54 m³/s au lieu de 35,96m³/s soit une sous-estimation de 8,42m³/s (figure 9-A).

Inversement, pour un calage des débits simulés aux débits observés (figure 9-A), l'infiltration gardée à 607mm/j sur le premier tronçon devient 435mm/j sur le deuxième.

Donc l'infiltration sur le trançon Gueïdam Tchoukou - Bagara est plus importante que sur le trançon Bagara Guéskerou.

CONCLUSION

Malgré les lacunes de données hydrométriques sur les chroniques de 1996 à 2008, les résultats obtenus au terme de l'analyse donnent un aperçu global sur les écoulements de la Komadougou Yobé, particulièrement les infiltrations leurs incertitudes liées aux deux paramètres les courbes de tarages.

Les courbes de tarages ajustées à défaut de données suffisantes et de détails historiques des stations peuvent produire une incertitude de $\pm 20\%$ environ sur les débits calculés. Ainsi ces débits induisent une erreur de $\pm 50\%$ sur les infiltrations calculées.

Les incertitudes liées aux surfaces inondables quant à elles, sont estimées à $\pm 17\%$. Ces deux paramètres sont méritent donc une attention particulière lors des analyses hydrologique de la Komadougou.

Le volume annuel infiltré sur les deux tronçons est d'environ $270 \text{ Mm}^3/\text{an}$ en 1996-1997 et $197 \text{ Mm}^3/\text{an}$ en 1998-1999. La moitié de ces volumes constitue l'apport d'eau l'apport de la Komadougou Yobé sur la ressource en eau souterraine nigérienne et l'autre moitié concerne le Nigéria.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDILLO I., 1995 – Contribution à l'évaluation de l'apport de la Komadougou Yobé à la nappe phréatique du Manga. Mémoire diplôme d'Ingénieur, Agrhymet / IRD, Niamey, Niger.
- GAULTIER G., 2004 - Recharge et paléorecharge d'une nappe libre en milieu sahélien (Niger oriental): Approches géochimique et hydrodynamique. *Thèse de doctorat*, Département de géologie, Université de Paris-Sud, Orsay, France
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY P., 1969 – Monographie du lac Tchad – Compléments. Note hydrologique sur l'El Beid et la Komadougou-Yobé. ORSTOM, service hydrologique, 57 p, annexes. Paris, France
- DELCLAUX F., 2004 - Campagne de nivellements GPS- Région de Diffa et lac Tchad, Niger (novembre – décembre 2003). Rapport technique, IRD Montpellier, France.
- LE COZ et al. 2009 articles
- OLIVRY et al. 1996 Hydrologie du Lac tchad. avec citation lien internet sur le site de l'ird
- <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>
- http://www.iso.org/iso/fr/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=42207