

Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger

Impact de la gestion
des aménagements hydrauliques

Marcel Kuper
Hydraulicien

Adama Hassane
Hydrologue

Didier Orange
Hydrologue

Anne Chohin-Kuper
Socio-économiste

Mariama Sow
Socio-économiste

Le fleuve Niger à Koulikoro (70 km à l'aval de Bamako, Mali) apporte chaque année un important volume d'eau mal réparti dans l'année, de 28,2 milliards de m^3 par an en moyenne pour la chronique 1982-1998. Avant 1980, les débits de crue (d'août à octobre) atteignaient $5\,000\ m^3\ s^{-1}$ pour des étiages en-dessous de $40\ m^3\ s^{-1}$ (de mars à mai). En 1982, l'installation du barrage de Sélingué (à 70 km en amont de Bamako) sur le Sankarani, affluent du Niger, modifie le régime du fleuve. Avec une capacité de stockage de 2,17 milliards de m^3 , le barrage soutient les étiages au-dessus de $100\ m^3\ s^{-1}$ à Koulikoro. La mise en service du barrage de Sélingué sur le Sankarani en 1982, coïncidant avec les sécheresses sahéliennes des années 1980 (*e.g.* Bricquet *et al.*, 1996 ; Mahé *et al.*, 1997) a entraîné une certaine confusion dans la perception

par les populations riveraines entre l'influence climatique et l'influence des aménagements sur l'apport en eau du fleuve Niger à l'entrée du delta intérieur. Les principales revendications des exploitants du delta concernent : d'une part, la diminution de la disponibilité en eau pendant la crue entraînant une baisse de la production de poissons, de pâturage et de la surface cultivable, et d'autre part des fluctuations intempêtes du fleuve en étiage entraînant des perturbations dans les captures de pêche.

Le but de cet article est d'analyser l'influence des aménagements, notamment du barrage de Sélingué, sur l'approvisionnement en eau de l'Office du Niger et du delta intérieur du Niger en faisant la part entre les causes naturelles et les effets liés à la gestion des aménagements hydrauliques. L'impact de la gestion du barrage de Sélingué sur les écoulements et les inondations dans le delta est déterminé en reconstituant les débits naturels avant l'installation du barrage. La comparaison de la situation sans et avec le barrage de Sélingué permet d'explorer son impact sur les systèmes traditionnels de production du delta (pêche, agriculture, élevage).

■ Régulation du fleuve Niger

Le bassin versant du fleuve Niger à la station hydrométrique de Nantaka (à la sortie de Mopti, juste après la confluence avec le Bani et donc quelques kilomètres après son entrée dans le delta intérieur) couvre 281 600 km², dont presque la moitié est drainée par le Bani. Les aménagements du fleuve Niger au Mali concernent le barrage à but multiple de Sélingué sur le Sankarani, le barrage au fil de l'eau des Aigrettes à Sotuba (sortie de Bamako) et le barrage de dérivation de Markala qui alimente les périmètres irrigués de l'Office du Niger (Brunet-Moret *et al.*, 1986). Il existe de nombreux projets pour aménager davantage le fleuve Niger. On peut citer le barrage de Fomi en Guinée sur le Niandan avec une capacité du réservoir de 6 milliards de m³ et le barrage de Tossaye sur le Niger à l'aval du delta avec également une capacité du réservoir de 6 milliards de m³. Le barrage de Sélingué au Mali est actuellement le seul ouvrage capable de participer à la régulation des eaux, en soutenant les étiages à Koulikoro au-dessus de 100 m³ s⁻¹ (Hassane *et al.*, 2000). La période d'étiage coïncidant

avec les fortes chaleurs et le démarrage de la campagne agricole à l'Office du Niger, les débits turbinés sont nécessaires à la fois pour la production d'énergie, l'agriculture, l'alimentation en eau des populations et la navigation. Cependant le plus grand consommateur de l'eau turbinée à Sélingué est de loin le périmètre irrigué de l'Office du Niger. Sa dépendance par rapport à la gestion du barrage s'est d'ailleurs révélée très préoccupante lors de l'étiage 1999, situation que nous analysons ci-après.

Le barrage de Sélingué a un volume stocké maximum de 2,17 milliards de m³ pour un apport moyen annuel du Sankarani de 7,0 km³ en moyenne sur la période 1982-1998, soit 30 % de l'apport. Pour la même période, le fleuve Niger observé à Banankoro apporte annuellement 20 km³ par an. L'apport moyen à Koulikoro étant estimé à 28,6 km³ an⁻¹, le volume stocké à Sélingué représente seulement 7,6 % des écoulements moyens annuels du fleuve Niger à cette station de référence. La figure 1 illustre l'importance saisonnière des débits sortants du Sankarani à Sélingué : ces débits représentent plus de 50 % des débits du Niger à Koulikoro en saison sèche (de février à juin) et approchent même les 100 % pendant la période la plus sèche de mars à mai.

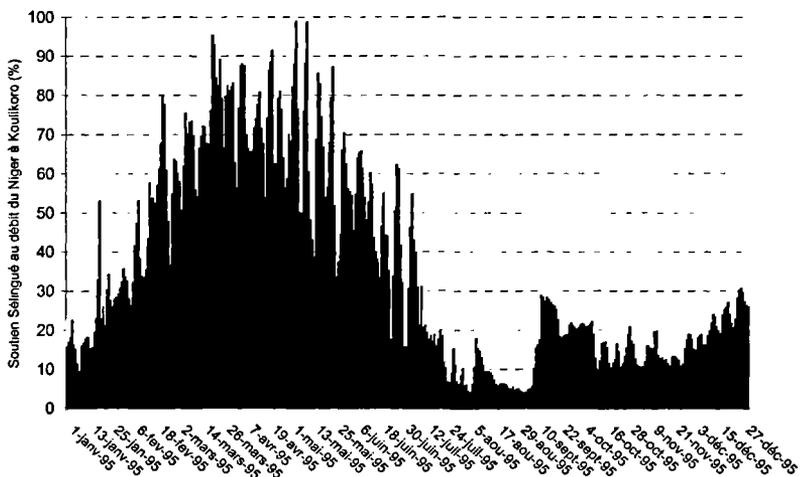
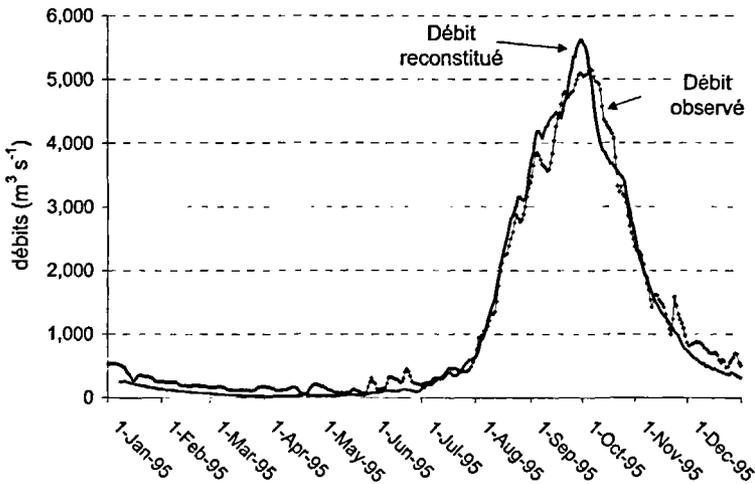


Figure 1

Contribution du barrage de Sélingué (sur le Sankarani) au débit du fleuve Niger à Koulikoro en 1995 (en pourcentage) (d'après Hydroconsult, 1996 ; Hassane *et al.*, 2000).

L'hydrogramme de crue correspondant est représenté en figure 2.

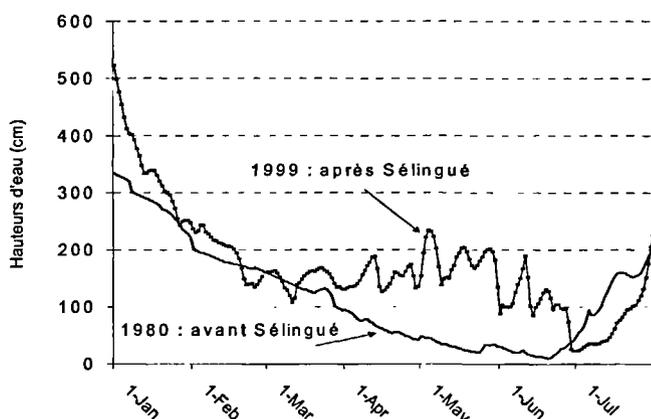
Pour déterminer l'impact du barrage de Sélingué, nous avons reconstitué le régime naturel du fleuve Niger à Koulikoro sans le barrage. Pour cela, nous avons adopté la relation établie par Soumaguel (1995), qui a effectué une régression multiple entre les débits à Banankoro, Koulikoro et le débit naturel du Sankarani à Sélingué. Pour déterminer l'apport naturel du Sankarani à Sélingué, nous avons utilisé l'équation du bilan hydrique en vigueur à Sélingué (Hydroconsult, 1996). Ensuite, la reconstitution de l'hydrogramme naturel de Ké-Macina à partir du débit observé à Koulikoro a été réalisée à partir de la chaîne de traitement de Bader (1992), méthode décrite dans Hassane *et al.* (2000). La comparaison de l'hydrogramme ainsi reconstitué (correspondant à un fonctionnement sans barrage) avec l'hydrogramme observé (correspondant à un fonctionnement avec barrage) – pour le cycle hydrologique 1995 (fig. 2) – indique une action réduite du barrage de Sélingué sur la crue (si ce n'est un léger retard dans l'onde de crue) et un étiage fortement soutenu par le réservoir de Sélingué (*cf.* fig. 1). Le débit moyen annuel naturel du fleuve Niger a diminué de seulement 4,5 % depuis l'installation du barrage de Sélingué (Soumaguel, 1995).



■ Figure 2

Débits observés (avec le barrage de Sélingué en fonction) et reconstitués (sans le barrage) en 1995 à Ké-Macina (en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) à partir des modèles développés par Soumaguel (1995) puis Hassane *et al.* (2000).

Durant la période d'étiage, des perturbations liées au fonctionnement du barrage sont perceptibles et largement critiquées par les populations du delta intérieur. Les nombreuses oscillations du niveau d'eau enregistrées correspondent effectivement aux lâchés d'eau et variations des débits turbinés (fig. 3). Les oscillations de la hauteur d'eau, ici à l'échelle de Mopti-Nantaka pour l'année 1999, sont en effet importantes. Ces oscillations ont un impact uniquement sur les grands axes fluviaux (Niger, Issa Ber), car les plaines et les cours d'eau secondaires ne sont pas en eau pendant cette période. Un deuxième phénomène perceptible est un léger retard accusé dans le début de la montée des eaux en 1999, lié au remplissage du réservoir de Sélingué.



■ Figure 3
Oscillations de la hauteur d'eau à l'échelle de Mopti-Nantaka après l'installation du barrage de Sélingué.

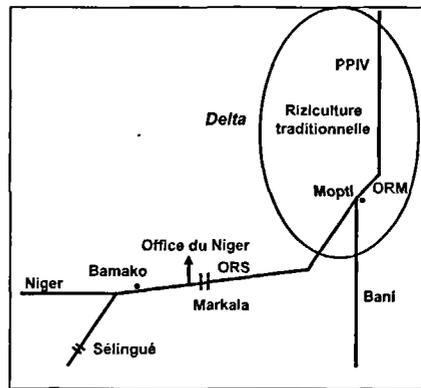
L'influence du barrage de Sélingué se résume donc par :

- un *soutien considérable des débits pendant les étiages* dont l'importance dépend de la gestion du réservoir du barrage au cours de l'année ; durant l'étiage, la contribution des débits sortants du barrage de Sélingué approche les 100 % du débit du fleuve Niger à Koulikoro mais la gestion du barrage entraîne des oscillations journalières des plans d'eau dans les cours d'eau permanents jusque dans le delta intérieur du Niger ;
- une *faible impact sur la hauteur des crues*, le barrage ne pouvant retenir que 7,6 % de l'apport annuel du Niger à Koulikoro.

Utilisation et partage des eaux du fleuve Niger

Au Mali, l'agriculture prélève la quantité la plus importante de l'eau du fleuve Niger¹. Elle concerne notamment les périmètres irrigués de Sélingué (1 500 ha), de Baguinéda (3 000 ha), de l'Office du Niger (56 675 ha) et les petits périmètres irrigués villageois dans le delta intérieur du Niger (PPIV sur environ 1 500 ha), ainsi que tout le système d'exploitation du riz traditionnel du delta intérieur utilisant les eaux d'inondation de la crue du fleuve (fig. 4).

Figure 4
Localisation
des usages agricoles
dans le bassin
du fleuve Niger au Mali.



Traditionnellement, les riverains du fleuve Niger cultivent du riz à submersion libre, et le delta intérieur du Niger est particulièrement propice pour cette culture. Dans les régions de Mopti et Tombouctou, la superficie cultivée annuelle fluctue autour de 115 000 ha (DRAMR, 1998 et 1999 ; Kuper et Maïga, 2000). A cette superficie, il faut ajouter 30 000 ha de casiers de riz à submersion contrôlée aménagés par l'Office Riz Ségou (ORS) et

¹ Comme d'ailleurs partout en Afrique, 63 % des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture.

l'Office Riz Mopti (ORM). La culture de riz traditionnel dépend directement de la surface inondée, donc de l'importance de la crue.

Les prélèvements d'eau mensuels de l'agriculture irriguée et de l'agriculture traditionnelle² et l'apport du fleuve à Koulikoro sont détaillés dans le tableau 1. Nous n'avons pas inclus les besoins en eau potable des riverains du fleuve, car il s'agit de quantités négligeables par rapport aux besoins de l'agriculture. Bamako, de loin le plus gros consommateur en eau potable, prélève environ 3 millions de m³ par mois (Palangié, 1999).

■ Tableau 1

Les apports en eau du fleuve Niger à Koulikoro et les prélèvements d'eau pour la riziculture sur les périmètres aménagés irrigués (Sélingué, Baguinéda, Office du Niger) et à submersion contrôlée (ORM, ORS) et dans le delta intérieur du Niger (à riziculture traditionnelle), pour la période 1989-1997 (volumes d'eau en millions de m³).

Type de prélèvements	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total annuel
Apports (10 ⁶ m ³)	568	380	339	368	444	745	1 759	4 455	8 571	7 794	3 483	1 311	30 218
Agriculture irriguée													
Sélingué	2,2	3,9	5,0	5,1	2,8	0,5	0,7	1,7	2,9	4,4	2,8	1,5	33,6
Baguinéda	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	215
Office du Niger	151	151	167	166	200	218	219	235	321	321	254	160	2 562
Riz. sub. contrôlée (ORM, ORS)	0	0	0	0	0	0	0	230	33	56	53	26	398
Riziculture traditionnelle	0	0	0	0	0	0	0	979	140	237	225	97	1 678
Evaporation Sélingué	65	66	77	54	39	25	13	16	37	53	62	62	569
Total mensuel	236	239	267	243	260	262	251	1 480	552	689	615	365	5 458
Pertes en % de l'apport	42	63	79	66	59	35	14	33	6	9	18	28	18

Source : Hydroconsult, 1996 (prélèvements Sélingué, évaporation) ; SERP, Office du Niger (prélèvements Markala)

² Pour calculer la consommation en eau du riz à submersion libre/contrôlée, nous prenons le taux d'évaporation déterminé par Olivry (1995) diminué par la pluie et multiplié par un coefficient cultural de 1,1 pendant la saison de culture (Smith, 1992). En août, la crue rentre dans les bassins de riz, qui est déjà au stade de tallage grâce aux pluies de juin et juillet. Nous avons pris une hauteur d'eau de 75 cm pour le remplissage des bassins (comptabilisé pour le mois d'août). La récolte est faite pendant les mois de novembre et décembre.

Les prélèvements de l'agriculture irriguée à l'amont du delta s'élèvent à 2 811 millions de m³ (tableau 1), représentant 10 % de l'apport du fleuve. Les prélèvements des périmètres irrigués sont importants pendant l'étiage (de janvier à juin) par rapport à l'apport du fleuve Niger à Koulikoro : les différents aménagements retirent entre 35 et 79 % de l'apport (tableau 1). La consommation d'eau est relativement plus faible en période de crue (de juillet à décembre), pendant laquelle seulement entre 6 et 33 % de l'apport est prélevé. La consommation d'eau de l'agriculture irriguée est plus forte que celle de l'agriculture traditionnelle (riz à submersion libre, riz de décrue). On note l'importance des prélèvements de l'Office du Niger à Markala, constituant presque 50 % du volume total annuel retiré. *In fine*, les pertes en eau par évaporation de la surface libre du plan d'eau de Sélingué atteignent 569 millions de m³ par an – moyenne de 1982-1998 évaluée à partir de l'abaque de Lotti et Sofrelec (1975) –, soit le quart du volume total du réservoir. En terme mensuel (fig. 5), les prélèvements des périmètres irrigués s'étalent sur toute l'année. A l'Office du Niger, les besoins en eau augmentent légèrement à partir de mai-juin pour être maximum en septembre-octobre. La demande la plus forte est celle de la riziculture traditionnelle en août. Aussi la quantité d'eau disponible à cette date déterminera la superficie des surfaces emblavées. Bien sûr, toutes ces demandes interviennent au moment de la crue du Niger où les prélèvements de juin à décembre fluctuent de 10 à 30 % seulement de l'apport du fleuve Niger à Koulikoro (tableau 1). Pendant la période d'étiage, de janvier à mai, le prélèvement en volume d'eau est plus faible mais représente entre 35 et 80 % de l'apport disponible dans le fleuve, avec un pic en mars. Cet apport en eau doit être nécessairement assuré par le barrage de Sélingué.

L'Office du Niger a des ambitieux projets d'extension et envisage l'aménagement d'un million d'hectares de casiers (Sogréah *et al.*, 1999). Nous avons vu qu'avec le dispositif actuel (56 000 ha cultivés), l'Office du Niger prend jusqu'à 50 % du débit du fleuve pendant l'étiage. Il est donc difficile d'imaginer l'extension sans problème majeur de disponibilité en eau pour les différents usagers. Cependant la gestion de l'eau actuelle est loin d'être satisfaisante et l'extension devra passer par une amélioration de cette gestion. En effet, la consommation à l'entrée des périmètres irrigués de l'Office du Niger (sur le système du Sahel, « point A ») est de 28 200 m³ ha⁻¹ pour la principale saison de culture (entre

avril et novembre). Or il s'avère que la consommation actuelle d'eau aux niveaux des partiteurs et des arroseurs (sur les réseaux secondaire et tertiaire) est de $12\,060\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ pour $15\,000\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ escomptées (Ouvry et Marlet, 1999). Cela représente une efficacité pendant la saison hivernale de $12\,060 / 28\,200 = 0,43$. En d'autres termes, seulement 43 % de l'eau qui rentre dans le canal du Sahel arrive dans les arroseurs aménagés... Bien sûr, il faut nuancer cette analyse ; une partie de l'eau « perdue » est destinée aux hors casiers pour la production notamment de riz et de produits maraichers³. De plus, les données d'Ouvry et Marlet (1999) concernent des arroseurs dans des casiers réaménagés. Dans des casiers non-réaménagés, la consommation est probablement plus importante, diminuant le pourcentage de pertes dans les réseaux primaire et secondaire.

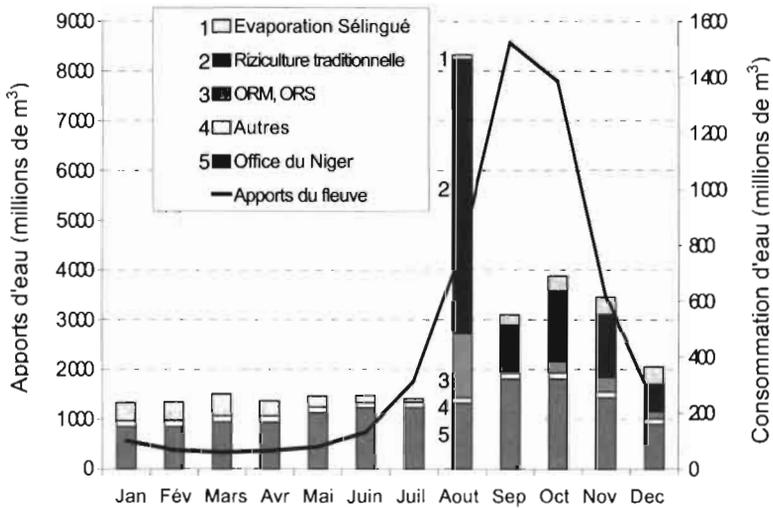


Figure 5
Hydrogramme des apports du fleuve Niger à Koulikoro et histogramme des usages de l'eau en moyenne mensuelle pour la période 1989-1997 (volumes d'eau mensuels en million m³) (source : Office du Niger, IRD/DNH).

³ Keita *et al.* (1999) insiste sur les multi-usages de l'eau : « la remise en eau des falas permet à une population nombreuse d'exercer de multiples activités productives autre que l'agriculture irriguée : pêche, ..., la pisciculture, l'élevage, l'exploitation des ressources ligneuses, le transport par pirogue... ».

Par ailleurs, les eaux du Niger ont de nombreux autres usagers. La figure 5 met en évidence le besoin primordial en eau au mois d'août pour la culture de riz à submersion libre dans le delta. Mais d'autres systèmes de production dépendent de l'importance de la crue : la pêche et l'élevage. Laë (1994) montre qu'il existe une forte relation entre la superficie inondée et les captures de poissons (Laë et Mahé, ce volume)⁴. La production de poissons varie du simple au double d'une année à l'autre. La capacité du delta à accueillir des troupeaux de bovins, ovins et caprins dépend aussi de l'étendue et du type de végétation. Les bourgoutières (*Echinochloa stagnina* et *Vossia cuspidata*) ont une capacité de charge potentielle jusqu'à quatre fois supérieure à d'autres types de végétation (oryzaïe, vétiveraie). Une mauvaise crue, induisant une diminution de la superficie de bourgoutières, entraîne donc une réduction de la capacité d'accueil du delta pour les troupeaux. Cissé et Gosseye (1990) estiment la superficie des bourgoutières du delta à 6 700 km² et le total des pâturages inondables, constitués d'espèces aquatiques, à 14 165 km² (Marie, ce volume)⁵. Enfin, la navigation est un autre utilisateur de l'eau du fleuve Niger avec les quatre bateaux de la Compagnie malienne de navigation (Comanav) et les pinasses de transport. Rey *et al.* (1994) ont compté à Mopti un total de 75 pinasses de transport avec une charge utile entre 15 et 120 tonnes.

Pour conclure, retenons que si l'agriculture irriguée ne prélève que 10 % des apports annuels en eau du Niger, elle est très largement la plus grosse consommatrice d'eau durant l'étiage (jusqu'à 80 % de l'apport à Koulikoro). L'agriculture irriguée dépend donc de la gestion du barrage de Sélingué en période d'étiage. L'extension des périmètres irrigués, actuellement en projet pour l'Office du Niger, est donc contrainte par un débit limité du fleuve Niger pendant l'étiage. D'autre part, la crue du fleuve Niger permet aux habitants du delta intérieur d'exercer leurs métiers traditionnels (pêche, élevage, agriculture) et de conserver sa flore et sa faune uniques. Les systèmes de production du delta dépendent de la surface inondée et donc de l'importance de la crue.

⁴ Laë R., Mahé G., ce volume – « Crue, inondation et production halieutique : un modèle prédictif des captures dans le delta intérieur du Niger ». In : partie 4.

⁵ Marie J., ce volume – « Milieux, riziculture, infrastructure pastorale : les enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger ». In : partie 3.

Impacts de la gestion des aménagements sur les systèmes de production

Une pénurie d'eau à l'Office du Niger : le cas de l'étiage 1999

La saison hivernale 1998 s'était achevée dans des conditions hydrologiques plutôt favorables : la crue avait atteint un maximum de $5\,090\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ début octobre à Koulikoro (contre un maximum moyen de $3\,950\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ sur la période 1980-1998). Le processus de décrue s'est amorcé normalement, le débit à Koulikoro étant toujours de l'ordre de $300\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ fin décembre et la courbe de décrue de 1999 est légèrement supérieure à celles des années précédentes (fig. 6). Cependant à partir de la mi-avril, on enregistre une augmentation anormale des débits suivie d'une diminution brutale, entraînant un assèchement du lit dans certains endroits (Hassane *et al.*, 2000).

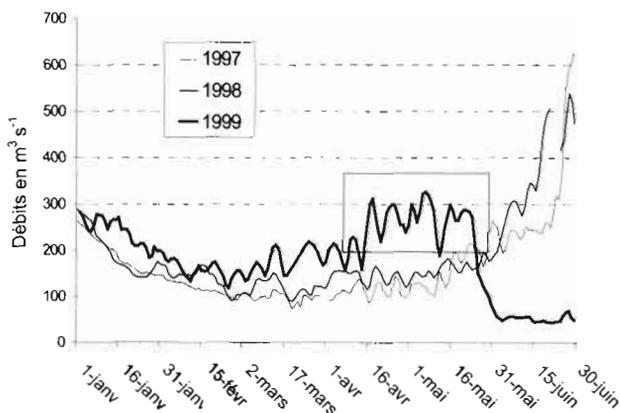


Figure 6
Débits journaliers du fleuve Niger à la station de Koulikoro
(en $\text{m}^3\text{ s}^{-1}$) pour les étiages des années 1997, 1998 et 1999
(source : base de données Hydrom, IRD/DNH ; Marieu *et al.*, 1998).

En fait, pour satisfaire les besoins en électricité de la région de Bamako, le barrage de Sélingué a fortement turbiné à partir de la mi-mars en s'écartant largement de l'ordinaire avec des débits supérieurs à $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ce qui a vidé précocement le réservoir. Le 20 mai, les écoulements du Sankarani à l'aval du barrage s'arrêtent et le fleuve Niger se trouve dans une situation d'étiage achronique et exceptionnelle par son intensité. Or la cote du plan d'eau de l'Office du Niger est gérée par le barrage de Markala, qui est un barrage de dérivation sur le fleuve Niger à l'aval de Ké-Macina avec une capacité de stockage limitée (environ 5 % de la capacité de Sélingué). La pénurie d'eau se manifeste à Markala fin mai 1999. La fermeture du barrage de Markala est décidée le 30 mai, au moment où l'effet de la chute des écoulements sortant de Sélingué était évident, la propagation de l'onde entre Sélingué et Markala étant environ de 7 jours.

Mi-mai, l'Office du Niger a décidé de remplir les *falas* (bras morts du fleuve Niger utilisés comme canaux d'alimentation) par mesure de précaution. A partir de mi-mai, on constate une baisse du niveau d'eau en amont du barrage, et le 28 mai le plan d'eau est descendu sous la cote de consigne. Malgré la fermeture totale du barrage, le niveau d'eau a continué à descendre de 3 cm par jour durant tout le mois de juin pour atteindre le minimum de 299,45 m le 29 juin (fig. 7). La tendance s'est ensuite inversée et le niveau d'eau est remonté à raison de 6 cm par jour en moyenne. Le 30 juin, une pluie importante est intervenue dans les zones de l'Office du Niger réduisant les besoins en eau du périmètre. Dans le même temps, le débit à Koulikoro a commencé à reprendre : le 7 juillet, on constate un débit de $110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ annonçant la fin de la période de crise. Le 15 juillet, le plan d'eau se situait à 300,35 m, soit alors au-dessus de la cote de consigne (fig. 7). En utilisant l'abaque de Sogréah (1992), on peut calculer le potentiel de stockage, qu'a utilisé le gestionnaire du barrage pour continuer à alimenter les canaux du Sahel et Macina pendant cette période de crise ; ce potentiel de stockage s'élève à 110 millions de m^3 (Hassane *et al.*, 2000). Pour une demande de $104 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de l'Office du Niger et un débit moyen de $62 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dans le fleuve Niger à Koulikoro pendant cette période de crise, la réserve pourrait dans ce cas fournir ce débit pendant 31 jours, d'où la forte diminution des prélèvements de l'Office du Niger enregistrée au 30 juin (fig. 7). Il faut attendre la reprise des écoulements du fleuve le 7 juillet, pour que les prélèvements d'eau de l'Office du Niger retrouvent leur niveau habituel.

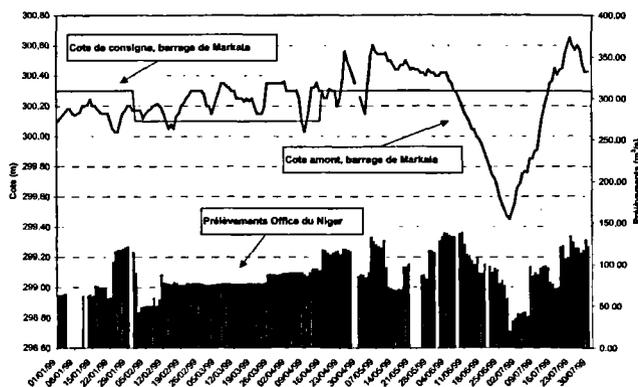


Figure 7

Evolution du plan d'eau amont du barrage de Markala et des débits prélevés par l'Office du Niger (canaux du Sahel, de Macina et de Costes Ongoïba) lors de l'étiage artificiel de 1999 (source : SERP, Office du Niger ; Morell et Grandin, 1981 ; Kuper *et al.*, 2000).

Impact sur la production agricole

L'impact de la pénurie d'eau pendant l'étiage 1999 sur la production agricole a été analysé en termes de perceptions de la crise par les producteurs. Une enquête a été menée auprès d'un échantillon de 210 chefs d'exploitation répartis dans les cinq zones de l'Office du Niger et dans le casier de Bévani. Dans chaque zone, les 35 exploitations ont été choisies dans différents villages correspondant à différents distributeurs et partiteurs (Chohin-Kuper et Sow, 2000).

Un manque d'eau sensible en début d'hivernage

Le manque d'eau a été sensible en début hivernage comme le confirment les producteurs qui ont perçu des manques d'eau dans la moitié des cas à partir de mai et surtout en juin. En effet, 70 % des problèmes d'eau ont été rencontrés en juin, période de forte baisse dans le fleuve. En juillet les problèmes s'estompent en raison de l'arrivée précoce des pluies. Les zones ont été plus ou moins touchées, deux canaux sur trois ayant eu leur alimentation assurée en eau. Tous les producteurs de la zone irriguée par le canal Costes-Ongoïba ont mentionné des problèmes d'eau en début

d'hivernage. La zone de Kouroumari a aussi été fortement touchée avec 75 % des exploitants sur le distributeur Sokolo ayant rencontré des problèmes, contre environ un tiers des exploitants des zones de Niono et N'Débougou, et moins de 20 % pour ceux de Molodo et de Macina. Dans la zone de Macina, les analyses ont montré le maintien d'un débit relativement important pendant la période de crise d'eau. De plus, les recommandations ont été largement diffusées par l'Office du Niger (par les aiguadiers en particulier) et suivies par les producteurs. Elles ont concerné par ordre d'importance : l'arrêt de l'implantation des pépinières (49 %), la bonne gestion de l'eau disponible (23 %), l'instauration de tours d'eau (15 %).

La pénurie d'eau a entraîné un retard du repiquage pour environ 45 % des exploitations et 40 % des superficies. Ce retard est le plus souvent consécutif au retard de semis de la pépinière. Cependant les producteurs ayant fait leur pépinière à la date prévue n'ont pas toujours pu respecter le délai de repiquage et ont dû retarder la date de repiquage, ce qui implique le repiquage de plants plus âgés susceptible d'avoir un impact négatif sur les rendements. En fait, les problèmes d'eau ont accru les décalages entre les producteurs installant leurs pépinières relativement tôt et ceux le faisant plus tard. Ce retard du repiquage aurait pu être plus important sans l'arrivée de pluies suffisantes en juillet qui a permis l'installation des pépinières ou le repiquage des pépinières implantées tôt.

Baisse modérée des rendements et fortes disparités

Une baisse du niveau de production liée à l'excès d'eau et au retard du repiquage est enregistrée, même si elle reste modérée. Les producteurs mentionnent une baisse de la production par rapport à l'année précédente pour plus de la moitié des parcelles. Dans la zone de Bèwani (dépendant du canal Costes-Ongoïba), 80 % des superficies seraient affectées par des baisses de rendement. Paradoxalement, la première cause mentionnée est l'excès d'eau liée à l'abondance des pluies à partir de juillet et aux problèmes consécutifs de drainage. Cependant le retard de repiquage lié à la crise d'eau n'est pas étranger à la baisse des rendements car l'excès d'eau est d'autant plus préjudiciable que le repiquage a été réalisé en retard (environ 16 % des baisses de rendement). De même, le retard du repiquage a eu un impact négatif indirect sur le tallage qui a alors coïncidé avec les pluies abondantes (2 % des baisses). D'autres raisons, indépendantes de la crise d'eau

expliquent aussi ces baisses (retard dans l'attribution des parcelles, inondations de parcelles...).

Les différences de rendements entre les parcelles ayant des rendements inchangés par rapport à l'année précédente et celles ayant vu leur rendement baisser atteignent en moyenne 500 kg ha⁻¹ pour les petites exploitations des zones réaménagées et pour les petites et moyennes exploitations des zones non réaménagées. Pour les moyennes exploitations de la zone réaménagée, la baisse de rendement atteint jusqu'à près de 1 500 kg ha⁻¹. Pour l'ensemble de la zone, cette baisse atteindrait en moyenne 700 kg ha⁻¹. Même si environ 40 à 50 % des superficies sont concernées, cela représente une perte qui peut être estimée à environ 20 000 tonnes, soit une baisse avoisinant 6 %. Cette baisse globale est certes modérée mais pour les exploitations les plus touchées, comme celles de Bèwani, elle atteindrait jusqu'à 30 %. Pour des exploitants qui possèdent des superficies rizicoles relativement limitées par rapport au nombre d'actifs en raison de l'attribution progressive en fonction des extensions, ces chutes sont loin d'être négligeables. Cette baisse de productivité n'est cependant pas confirmée par les statistiques officielles de l'Office du Niger qui mentionnent une progression de la production en 1999/00 par rapport à 1998/99, malgré le retard de la campagne et les problèmes d'inondation qui ont touché environ 1 000 ha.

Faible impact du barrage de Sélingué sur le delta intérieur du Niger

Pour déterminer l'impact de la gestion du barrage de Sélingué sur les systèmes de production dans le delta, nous avons utilisé *Midin*, une modélisation intégrée du delta intérieur du Niger (Kuper *et al.*, ce volume)⁶. Cet modèle est construit à partir d'une représentation géoréférencée hydrologique fondée sur la structure en réseau (nœuds et flux) de l'hydrosystème delta et sur les fonctionnalités hydrologiques des objets géographiques (transfert, stockage, vidange). Les attributs des objets spatiaux concernent l'eau, moteur du système, mais aussi certains champs de l'écologie végétale et

⁶ Kuper M., Mullon C., Poncet Y., Benga E., Morand P., Orange D., Mahé G., Arfi R., Bamba F., ce volume – « La modélisation intégrée d'un écosystème inondable : le cas du delta intérieur du Niger ». In : partie 4.

planctonique, les différents biotopes d'intérêt halieutique, agricole et pastorale, les lieux de résidence des groupes humains et leurs stratégies de migration pour l'exploitation des ressources naturelles. Si donc la variable explicative principale est la quantité d'eau, les variables de sorties sont les productions possibles des zones de pêche, des zones agricoles et des zones pastorales et leur revenus associés. Nous avons simulé les écoulements naturels – calculés à partir des équations de Soumaguel (1995) et de Hassane *et al.* (2000) –, évalué l'impact de ces écoulements sur les systèmes de production et comparé ce scénario avec la situation actuelle. Il apparaît un très faible écrêtage de la crue et surtout un fort soutien des étiages (fig. 8, colonne de gauche, troisième courbe) attribuable à l'influence du barrage de Sélingué. Le graphe de la surface inondée (colonne de gauche, quatrième courbe) met en évidence l'impact négligeable du barrage sur la surface inondée pendant la crue, surtout en année de bonne et moyenne crue (1994/95 et 1995/96). En année de mauvaise crue (1993/94), on note alors une légère diminution de la surface inondée. Par contre, les étiages toujours renforcés par le barrage de Sélingué se traduisent par une augmentation de la surface inondée. L'effet du barrage de Sélingué semble contrasté en ce qui concerne les revenus des pêcheurs (colonne de droite, quatrième courbe). D'un côté, la saison de pêche se prolonge (colonne de gauche, première courbe), de l'autre côté les captures diminuent légèrement au début de la décrue (surtout en année de forte crue, exemple de 1993/94) en raison d'une décrue moins abrupte depuis l'installation du barrage de Sélingué. Selon Niaré et Bénech (1993), l'amélioration des conditions hydrologiques de l'étiage aurait pour effet principal de favoriser le maintien et la reproduction du stock de poissons après la saison de pêche de décrue, ce qui équivaut à une protection de la ressource. Mais les revendications des pêcheurs concernent les oscillations du fleuve en étiage car ils ne peuvent plus réaliser les pêches d'épuisement sur un court laps de temps. Cependant l'effet du barrage de Sélingué sur le nombre de captures semble limité : Laë (1994) estime que la perte de la production halieutique à cause de Sélingué pour le delta s'élève à 2 000 tonnes, soit seulement de 2 à 5 % des captures annuelles. L'impact des différents aménagements en projet sur le bassin du fleuve Niger, tels que les barrages de Fomi (Guinée) et de Tossaye (Mali), sur le delta intérieur du Niger est plus préoccupant. Ces barrages, avec des capacités de stockage jusqu'à trois fois celle du réservoir de Sélingué, ont un effet d'écrêtage de la crue quand ils sont situés

à l'amont du delta, diminuant fortement la surface inondée et gênant la régénération des ressources naturelles (Kuper *et al.*, ce volume). Des barrages situés à l'aval du delta (*e.g.* Tossaye) auront un impact sur les hauteurs d'eau pendant l'étiage.

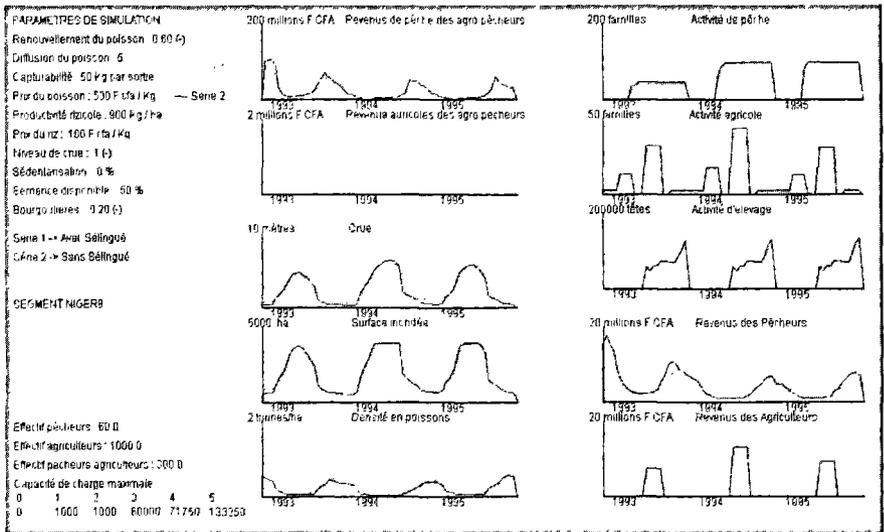


Figure 8
Impact du barrage de Sélingué : comparaison de la situation actuelle (avec barrage de Sélingué) avec la situation naturelle, exemple du bief Sensé-Konna.

Conclusion

Actuellement, le fleuve Niger est peu aménagé. Les barrages de Sélingué et de Sotuba permettent de générer de l'hydroélectricité (52,5 MW maximal), tandis que le barrage de Markala alimente les casiers de l'Office du Niger en rehaussant le plan d'eau du fleuve. Mais le barrage de Sélingué est le seul ouvrage capable de réguler les eaux du fleuve. Son impact sur les écoulements pendant les hautes-eaux, et donc sur la régénération des ressources naturelles dans le delta intérieur du Niger dépendant avant tout de l'importance de la crue, est limité en raison de la faible capacité de

stockage du réservoir de Sélingué par rapport au volume des écoulements de crue du fleuve Niger. En revanche, l'effet pendant l'étiage est primordial puisqu'il permet de soutenir les débits à Koulikoro au-dessus de $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, au moment où les besoins de l'Office du Niger sont importants par rapport au débit du fleuve, indépendamment du fait que la demande en électricité pour Bamako est plus élevée en saison sèche (au moment donc de l'étiage). En effet, si l'agriculture irriguée ne prélève que 10 % des apports annuels du fleuve Niger, sa dépendance est beaucoup plus importante en étiage (jusqu'à 80 % de l'apport à Koulikoro). Cet apport en eau est assuré par les débits turbinés au barrage de Sélingué. *La disponibilité en eau pendant l'étiage est donc limitée et dépend de la gestion du barrage de Sélingué.* L'extension des périmètres irrigués, actuellement en projet à l'Office du Niger, est contrainte par cette limitation. Cependant l'amélioration de l'efficacité de la gestion de l'eau à l'Office du Niger devrait permettre une certaine extension de la surface aménagée.

La dépendance de l'Office du Niger vis-à-vis de la gestion du barrage de Sélingué a été mise en évidence pendant l'étiage « artificiel » de juin 1999 lié à une gestion non concertée du barrage de Sélingué qui a privilégié la production d'électricité pour Bamako. Cela a induit une vidange prématurée du réservoir provoquant la baisse du plan d'eau du barrage de Markala en-dessous de la cote de consigne pour l'irrigation des périmètres de l'Office du Niger. Les stratégies mises en œuvre à l'Office du Niger (fermeture du barrage, recommandations aux producteurs visant à retarder l'implantation des pépinières et à économiser l'eau) et l'arrivée précoce des pluies ont permis de limiter l'impact négatif sur la production rizicole de cette campagne 1999/00. La production aurait baissé de 6 %, *i.e.* 20 000 tonnes, mais avec de fortes disparités spatiales allant jusqu'à des baisses de 30 %. *La crise de l'étiage 1999 est un signal d'alarme démontrant la nécessité d'une gestion concertée de l'eau afin de garantir l'accès de l'eau à tous.*

Depuis leur installation, la gestion des barrages dans le bassin du fleuve Niger a évolué. Le barrage de Sélingué était au début des années 1980 sous la tutelle d'un comité mixte « de façon à pouvoir procéder aux arbitrages nécessaires » (Lotti et Sofrelec, 1975). La vidange prématurée du réservoir en 1999 a montré, qu'actuellement la gestion a pour but premier la production d'électricité malgré l'existence de règles de gestion insistant sur le

maintien d'un débit minimum pendant l'intégralité de l'étiage. Le scénario de 1999 confirme que les gestionnaires d'ouvrage ont souvent tendance à tenir compte des contraintes techniques liées à la vocation première de l'ouvrage – souvent l'hydroélectricité – au détriment de l'environnement ou des autres usages de l'eau. Le défi à relever dans la gestion des aménagements d'un bassin fluvial est de parvenir à une gestion concertée des ouvrages.

Bibliographie

- Bader J.-C., 1992 – *Chaîne de programmes pour la vérification, l'homogénéisation et le complètement des données hydrométriques*. Doc. Orstom-Agrhymet, Dakar, Sénégal.
- Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Olivry J.-C., 1996 – « Changements climatiques récents et modifications du fleuve Niger à Koulikoro (Mali) ». In : *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement*, IAHS Publ., 238 : 157-166.
- Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.-P., Molinier M., 1986 – *Monographie hydrologique du fleuve Niger*. Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 2 tomes, 902 p.
- Chohin-Kuper A., Sow M., 2000 – *Modes de gestion de l'eau et production agricole. Le cas de l'étiage 1999*. Rapport Insa, Bamako, Mali 19 p.
- Cissé S., Gosseye P. A., 1990 – *Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali, rapport 1*. Centre des recherches agrobiologiques (Cabo), Wageningen, Pays-Bas, 170 p.
- DRAMR, 1998, 1999 – *Bilan Campagne, régions de Mopti et Tombouctou, Mali*. Rapport DRAMR, Mopti.
- Hassane A., Kuper M., Orange D., 2000 – Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'onde de la crue du delta intérieur du Niger au Mali. *Sud Sciences et Technologies*, 5 : 16-31.
- Hydroconsult, 1996 – *Mise à jour de l'hydrologie pour la réhabilitation du barrage de Sélingué*. Rapport Orstom-EDF, Bamako, Mali, 2 tomes.
- Keita N., Kaloga K., Bélières J.-F. 1999 – *D'une gestion étatique de l'eau à une gestion paritaire état/usagers : le cas de l'Office du Niger au Mali*. *Hydrotop '99*, Marseille, France.
- Kuper M., Maïga H., 2000 – *Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger au Mali*. Etudes et rapports Gihrex, ER52, IRD, Bamako, Mali, 39 p.

- Kuper M., Gréard M., Hassane A., Mahieux A., Marieu B., Orange D., 2000 – *Etude hydraulique du réseau primaire de l'Office du Niger*. Etudes et rapports Gihrex, ER55, IRD, Bamako, Mali, 49 p.
- Laë R., 1994 – « Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson ». In Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger*, Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.
- Lotti et Sofrelec, 1975 – *Barrage de Sélingué sur le Sankarani, recommandations sur les problèmes de gestion et de fonctionnement*. Doc. DNH, Bamako, Mali, 19 p.
- Mahé G., Bricquet J.-P., Soumaguel A., Bamba F., Diabaté M., des Tureaux T., Kondé C., Leroux J.-F., Mahieux A., Olivry J.-C., Orange D., Picouet C., 1997 – Bilan hydrologique du Niger à Koulikoro depuis le début du siècle. *Acta hydrotechnica*, 15/18 : 191-200.
- Marieu B., Bamba F., Bricquet J.-P., Cissé N., Gréard M., Henry des Tureaux T., Mahé G., Mahieux A., Olivry J.-C., Orange D., Picouet C., Sidibé M., Touré M., 1998 – *Actualisation des données hydrométriques du fleuve Niger au Mali pour Equanis*. Etudes et rapports Gihrex, ER32, IRD, Bamako, Mali, 81 p.
- Morell M., Grandin J., 1981 – *Etalonnage des ouvrages du canal du Sahel (Office du Niger)*. Rapport Orstom, Bamako, Mali, 11 p.
- Niaré T., Bénech V., 1993 – Modifications de la croissance de *Brycinus leuciscus* (Characidae) suite aux changements hydroclimatiques et halieutiques dans la plaine inondée du delta central du Niger. *Ichtyol. Explor. Freshwaters*, 4 (1) : 65-78.
- Olivry J.-C., 1995 – « Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur ». In Olivry J.-C., Boulègue J. (éd.) : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone*, Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 267-280.
- Ouvry F., Marlet S., 1999 – *Suivi de l'irrigation et du drainage : étude des règles de gestion de l'eau et bilans hydro-salins à l'Office du Niger (cas de la zone de Niono, Mali)*. Doc. IER, Niono, Mali, Travaux et études n° 8.1 et 8.2, 30 p. et 105 p.
- Palangié A., 1999 – *Origines et caractéristiques de la pollution des eaux de Bamako : une première approche pour la gestion et l'épuration*. Mémoires Gihrex, M19, IRD, Bamako, Mali, 102 p.
- Rey H., Kassibo B., Salamanta M., 1994 – « Pirogues et constructeurs : approche d'une activité informelle ». In Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger*, Paris, IER-Orstom-Karthala : 311-321.
- Smith M., 1992 – Cropwat, a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage paper*, 46, Rome, Italie, 126 p.
- Sogréah, 1992 – *Barrage de Markala, consignes générales d'exploitations*. Doc. Sogréah, Grenoble, France.
- Sogréah, BCEOM, Bético, 1999 – *Etude du schéma directeur d'aménagement pour la zone de l'Office du Niger*. Doc. Office du Niger, Ségou, Mali, 116 p.
- Soumaguel A., 1995 – *Influence du barrage de Sélingué sur le régime hydrologique du Niger*. Mémoire de fin d'études, Doc. Agrhymet, Niamey, Niger, 69 p.