

LE FLEUVE NIGER

DE LA FORÊT TROPICALE GUINÉENNE AU DÉSERT SAHARIEN

Les grands traits des régimes hydrologiques



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture

IRD
Institut de recherche
pour le développement

Conception : Afrik.m, Sokona Tounkara

Crédits photos :

Couverture : le Diaka à Diondori © Pierre-Alain Uniack, 2008

Carte du delta intérieur du Niger (p 14) : extrait de Y. Brunet-Moret et al., ORSTOM, 1986

Toutes les autres cartes, figures et photographies sont des auteurs.

Avertissement :

Les désignations employées dans cet ouvrage et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les idées et les opinions exprimées dans cet ouvrage sont celles des auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'UNESCO et n'engagent en aucune façon l'Organisation.

Contacts :

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

UMR G-eau

361 rue Jean François Breton – BP5095 – 34196 Montpellier Cedex 5 – France

Tel : +33(0)4 67 04 63 41

Luc Ferry, luc.ferry@ird.fr

Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO)

Bureau multipays de l'UNESCO à Bamako

ACI2000 – Hamdallaye – Bamako – Mali

Tel : +223 20 23 34 92

Juma Shabani, j.shabani@unesco.org

© IRD et UNESCO, 2012

Tous droits réservés

Publié en mars 2012 par l'IRD et l'UNESCO

LE FLEUVE NIGER

DE LA FORÊT TROPICALE GUINÉENNE AU DÉSERT SAHARIEN

Les grands traits des régimes hydrologiques

L. Ferry¹, N. Muther², N. Coulibaly³, D. Martin⁴, M. Mietton⁵, Y. Cissé Coulibaly⁶, J.C. Olivry⁷, J.E. Paturel⁸, M.A. Barry⁹, M. Yéna¹⁰

¹ Hydrologue, Directeur de recherche à l'IRD (UMR G-eau – 361 rue Jean François Breton – BP 5095 – 34196 Montpellier Cedex 5 – France) (luc.ferry@ird.fr)

² Hydrotechnicienne à l'IRD (UMR G-eau – 361 rue Jean François Breton – BP 5095 – 34196 Montpellier Cedex 5 – France) (nadine.muther@ird.fr)

³ Ingénieur hydrologue (Direction Nationale de l'Hydraulique – Square Patrice Lumumba – BP 66 – Bamako – Mali) (ntjiecoulbaly@yahoo.fr)

⁴ Hydrotechnicien à l'IRD (UMR G-eau – 361 rue Jean François Breton – BP 5095 – 34196 Montpellier Cedex 5 – France) (didier.martin@ird.fr)

⁵ Professeur à l'Université Lyon 3 J. Moulin (CRGA-UMR 5600 -18, rue Chevreul 69262 Lyon Cedex 7 France) (michel.mietton@univ-lyon3.fr)

⁶ Ingénieur hydrologue (Direction Nationale de l'Hydraulique – Square Patrice Lumumba – BP 66 – Bamako – Mali) (c.youma@yahoo.fr)

⁷ Hydrologue, Directeur de recherche à l'IRD (135 avenue du Coteau Fleuri, 83320 Carqueiranne France) (jean-claude.olivry@wanadoo.fr)

⁸ Hydrologue, Chargé de recherche à l'IRD (UMR HSM – Case MSE – Pl. E. Bataillon – 34095 Montpellier Cedex 5 France) (jean-emmanuel.paturel@msem.univ-montp2.fr)

⁹ Ingénieur hydrologue (Direction Nationale de l'Hydraulique – BP 642 – Conakry – Guinée) (barryaliou55@yahoo.fr)

¹⁰ Ingénieur hydrologue (Direction Nationale de l'Hydraulique – Square Patrice Lumumba – BP 66 – Bamako – Mali) (mamayena@yahoo.fr)

Cette synthèse a été réalisée dans le cadre :

- du projet «Niger-Loire : gouvernance et culture», coordonné par l'UNESCO et bénéficiant du soutien de l'Union Européenne dans le cadre de l'appel à projet Facilité ACP-UE pour l'Eau ;
- du programme de recherche «Vulnérabilité des Ressources en Eau Superficielle au Sahel aux évolutions Anthropiques et Climatiques à moyen terme» (RESSAC) soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (France) dans le cadre de son appel à projet «Vulnérabilités : milieux et climat» (VMC, 2006).

Ce document a été conçu pour un large public : étudiants, enseignants et chercheurs mais aussi aménageurs, décideurs et bailleurs de fonds. Beaucoup parmi eux, tout en s'intéressant aux écoulements du fleuve Niger, aux usages de la ressource en eau et à sa gestion, ne sont pas forcément spécialistes dans le domaine de l'hydrologie et trouveront intérêt à sa lecture. Des données actualisées, des interprétations nouvelles, une traduction cartographique abondante, souvent inédite, illustrent ce document rédigé par des auteurs ayant une bonne connaissance du Niger guinéen et malien. A l'heure d'un changement climatique dont les effets seront à mesurer, il est impératif d'avoir un diagnostic aussi complet que possible du fonctionnement de cet éco-anthropo-système. Le fleuve Niger et sa vallée représentent un couloir vital pour l'économie des pays concernés et l'Afrique de l'Ouest, un objet d'étude de dimension culturelle, patrimoniale, à l'interface Nature-Société.

SOMMAIRE

POURQUOI S'INTÉRESSER AUX RÉGIMES HYDROLOGIQUES DU FLEUVE NIGER ?

LE BASSIN VERSANT DU NIGER

Le bassin versant du Niger depuis la dorsale guinéenne jusqu'à son delta maritime nigérian
Le bassin versant du Niger en Guinée et au Mali

PRECIPITATIONS, ECOULEMENTS ET CRUES : DES SITUATIONS CONTRASTÉES

Une grande variabilité géographique des précipitations et des écoulements

Sur les petits bassins versants, des écoulements sporadiques et des crues brutales

Sur la portion malienne du Niger, une crue annuelle qui traverse le pays en près de trois mois

Une très forte variabilité des débits annuels

Des crues à la fois bénéfiques et dévastatrices

IMPACT DES AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES ET DE L'ANTHROPISATION DES BASSINS VERSANTS

Des écoulements modifiés par les grands aménagements hydrauliques

D'autres usages de l'eau aux impacts peu perceptibles sur les cours d'eau ou insuffisamment connus

Un avenir incertain

ANNEXES

Les bases nationales de données hydrologiques de la Guinée et du Mali, des outils pour la connaissance des milieux aquatiques et le développement

Quelques termes de l'hydrologie

Pour en savoir plus...

Sigles utilisés dans ce document

Pourquoi s'intéresser aux régimes hydrologiques du fleuve Niger ?

En Guinée et au Mali, la maîtrise de l'eau dans les zones tropicales soudaniennes et sahéniennes du bassin versant du Niger est un des éléments déterminants de la sécurisation de la production agricole. La mise en valeur des ressources en eau requiert une bonne connaissance des régimes hydrologiques et plus particulièrement des caractéristiques de l'écoulement (basses-eaux, hautes-eaux, apports annuels) pour fonder des décisions bien souvent irréversibles (construction et dimensionnement d'ouvrages). Cette connaissance concerne aussi la répartition de l'eau dans l'espace et dans le temps pour améliorer la gestion des ouvrages de stockage, le fonctionnement du système et l'étude de l'effet des changements apportés par l'homme au schéma naturel de cette répartition.

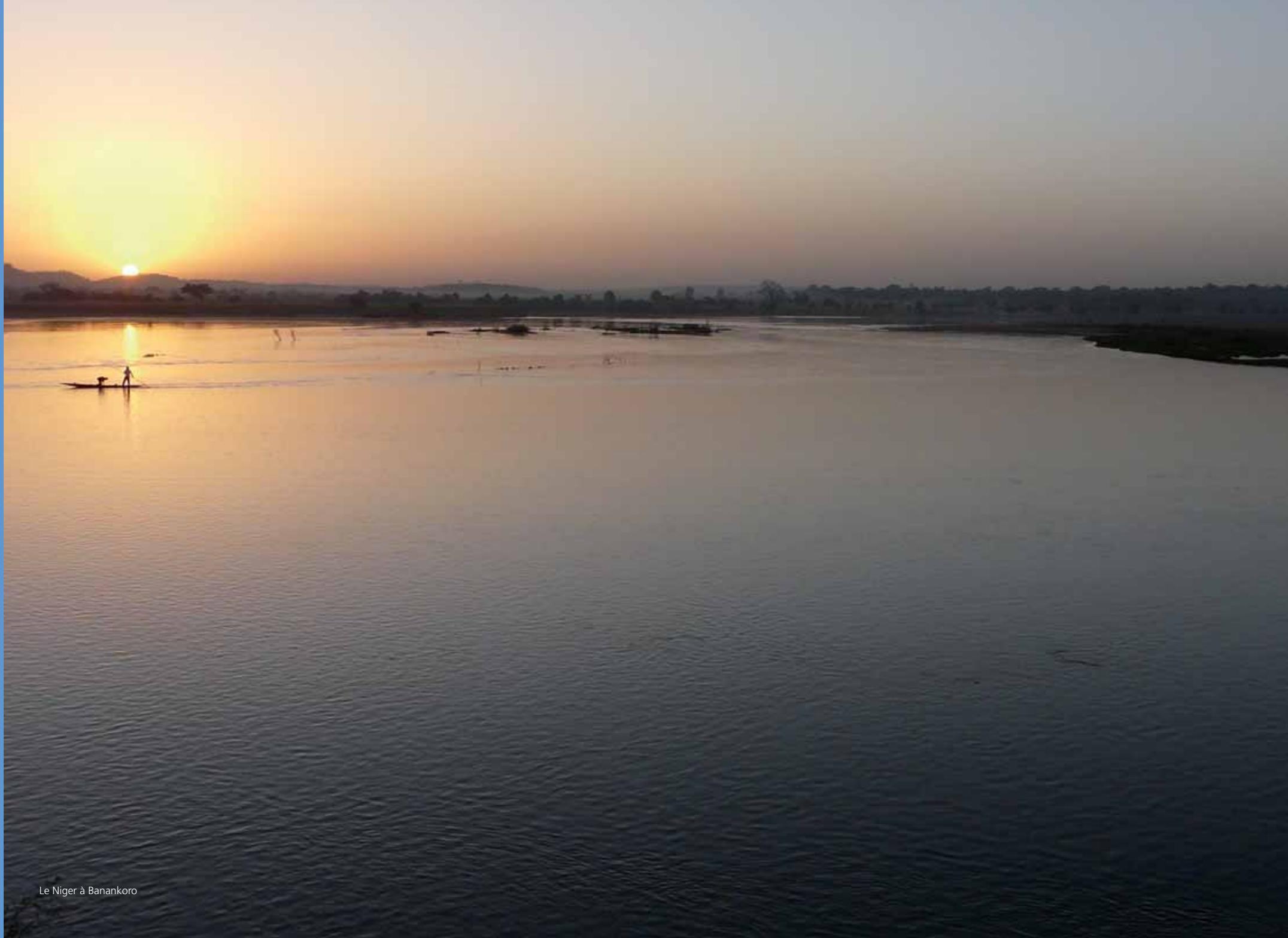
Le fleuve Niger et ses affluents sont encore peu équipés en grands aménagements. Mais les projets d'aménagements, notamment hydroélectriques et hydroagricoles, sont nombreux et souvent d'envergure : barrage de Fomi en Guinée, barrage de Taoussa, extension de l'Office du Niger au Mali... Avec une croissance annuelle d'environ 3%, la population du bassin du Niger devrait doubler d'ici une vingtaine d'années. La population de Bamako dépasserait 3,5 millions d'habitants à l'horizon 2030. Le fleuve et ses affluents, plus généralement toutes les surfaces en eau et les zones humides (rivières, lacs, mares, marécages...) seront donc davantage sollicités et connaîtront de profondes modifications dans les prochaines décennies. Dans ce contexte, vient se surimposer le changement climatique global dont il est difficile de prévoir, pour le moment, les conséquences sur les précipitations et les écoulements. Il est donc d'une importance vitale de bien connaître les régimes hydrologiques et leur évolution dans le temps.



Pêche collective de la mare de Bolé sur le Niandan



Le Niger à Bamako





LE BASSIN VERSANT DU NIGER

Le bassin versant du Niger depuis la dorsale guinéenne
jusqu'à son delta maritime nigérian

Le bassin versant du Niger en Guinée et au Mali



Le bassin versant du Niger depuis la dorsale guinéenne jusqu'à son delta maritime nigérian

La superficie du bassin versant du Niger varie suivant les auteurs de 1 500 000 km² à 2 000 000 km² selon la prise en compte plus ou moins large des grands espaces sahariens situés au nord du bassin. Ces grands espaces étant considérés comme non productifs en termes de ressources en eau dans l'hydrosystème Niger, il convient de s'arrêter à la surface utile du bassin versant susceptible de contribuer au bilan hydrologique du fleuve ; celle-ci serait d'environ 1 100 000 km².

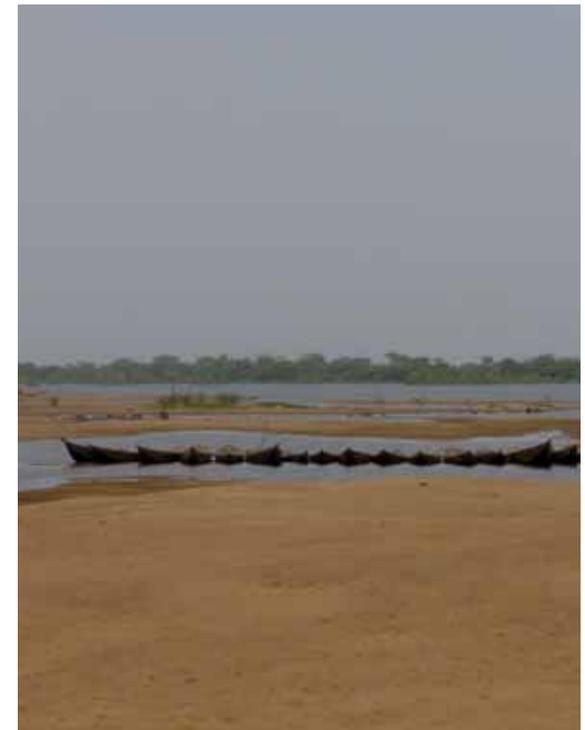
Issu de la Dorsale Guinéenne, le Niger est le troisième fleuve d'Afrique par sa longueur (environ 4 200 km) après le Nil et le Congo. Il s'écoule suivant une direction générale nord-est jusqu'aux confins du Sahara. Il décrit alors une grande boucle dans sa traversée des régions sahéliennes et subdésertiques en aval d'un delta intérieur de plus de 40 000 km², où il perd une part importante de ses apports hydriques. Le cours du Niger prend ensuite la direction sud, vers l'océan atlantique et se jette, par les multiples bras d'un grand delta maritime de 30 000 km², dans le golfe de Guinée.

Le fleuve Niger traverse quatre pays (Guinée, Mali, Niger, Nigeria) mais, par ses affluents, son bassin versant intéresse aussi le Tchad, le Cameroun, le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire. Neuf pays sont donc concernés par les ressources en eau du Niger ; ce sont ceux de l'Autorité du

Bassin du Niger (ABN). Un dixième pays, l'Algérie, peut être rattaché au bassin du Niger par le réseau fossile supérieur de l'Azaouagh au sud du Hoggar. Enfin, avec les incertitudes relatives au tracé de son bassin versant, deux autres pays pourraient entrer dans la liste des pays du bassin du Niger : la Mauritanie et la Sierra Leone.

Le bassin versant du Niger peut être divisé en cinq entités :

- ❶ le Niger supérieur,
- ❷ la région du delta intérieur du Niger,
- ❸ le Niger moyen malo-nigérian et bénino-nigérian avec ses affluents de rive droite, et spécifiquement nigérian avec ses affluents de rive gauche,
- ❹ le Niger inférieur et le bassin de la Bénoué,
- ❺ le delta maritime du Niger.



Le Niger à Kangaba

Le bassin versant du Niger en Guinée et au Mali

Sur son parcours guinéen et malien, le Niger connaît une évolution assez remarquable. Il est soumis à un régime tropical simple dans son bassin supérieur puis à une phase d'épuisement et de retard de ses écoulements par ses errances dans son delta intérieur.

Le bassin supérieur du Niger (Guinée, Mali, Côte d'Ivoire et Burkina Faso)

Le bassin versant supérieur du Niger guinéen et malien

On peut considérer que la limite aval du bassin supérieur du fleuve Niger proprement dit se situe entre Ségou et Markala. Le bassin versant, d'une superficie de 130 750 km² à Ségou, comprend huit branches-mères principales : le Niger en amont de sa confluence avec le Mafou, le Sankarani, le Fié, le Milo, le Niandan, le Mafou, le Tinkisso et le Koda.

Entre Bamako et Koulikoro, le Niger franchit deux zones de rapides (Sotuba et Kénié) avant de s'assagir dans une vaste plaine qui le conduit jusqu'à Ségou et au barrage de Markala. Ce dernier permet la mise en valeur par l'Office du Niger d'un delta mort, le fala de Molodo, témoin d'une dégradation hydrographique ancienne.



Le Niger à Bamako

Le bassin versant du Bani

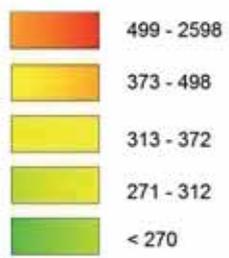
La limite aval du bassin versant du Bani a toujours été considérée comme étant située à Mopti. Les images satellites (Google par exemple) montrent clairement des diffluences du Bani situées à moins de 25 km en aval de Douna (pont routier entre Ségou et Bla). On peut donc considérer que le bassin versant du Bani au sens strict a pour limite aval le pont de Douna et une superficie de 102 300 km². En aval de cette limite et en hautes eaux, il y a une complète confusion entre le Bani (riv.) et la partie deltaïque. Cette confusion est d'autant plus importante que l'on se rapproche de Mopti.

Le bassin versant du Bani tel que défini ci-dessus comprend trois branches-mères principales : le Baoulé, le Bagoé et le Banifing de Kouoro. Il est largement anthropisé et est en partie occupé par la plus vaste région cotonnière du Mali.



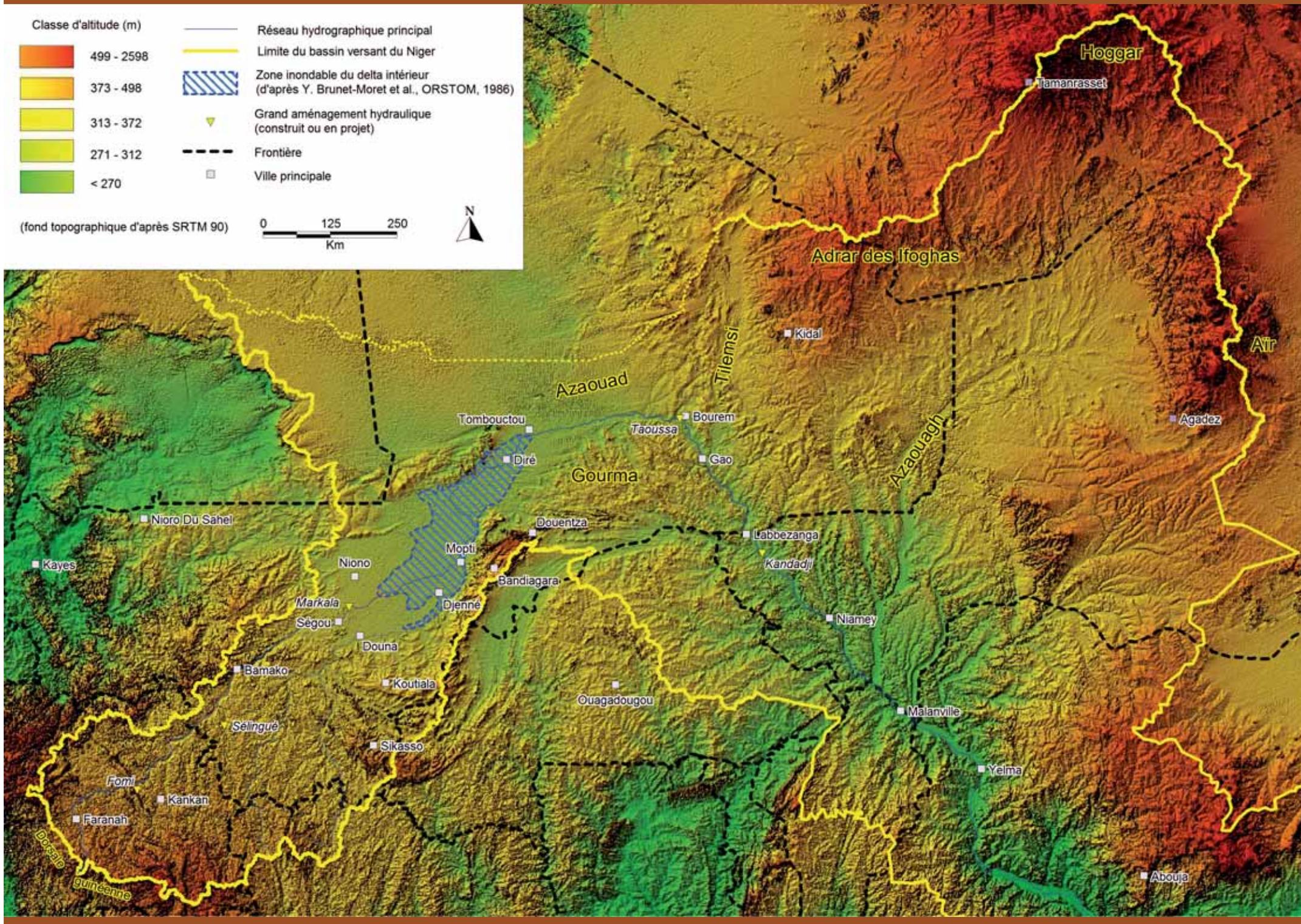
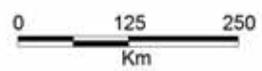
Seuil de prise pour l'alimentation en eau potable de la ville de Bougouni sur le Baoulé

Classe d'altitude (m)



- Réseau hydrographique principal
- Limite du bassin versant du Niger
- ▨ Zone inondable du delta intérieur (d'après Y. Brunet-Moret et al., ORSTOM, 1986)
- ▼ Grand aménagement hydraulique (construit ou en projet)
- - - Frontière
- Ville principale

(fond topographique d'après SRTM 90)



La région du delta intérieur du Niger

En aval de Markala pour le Niger et de Douna pour le Bani, le réseau fluvial entre dans une immense plaine d'alluvions quaternaires et actuelles, le delta intérieur du Niger de près de 40 000 km². Sa sortie se situe à Koryoumé, port fluvial de Tombouctou.

La zone inondable forme un grand parallélogramme d'axe SO-NE de 400 km de longueur et 125 km de largeur, connu sous différents noms : delta central, cuvette lacustre, cuvette intérieure, ou delta intérieur du Niger. Géographiquement, le delta correspond à l'extension maximale des eaux de crue et des lacs périphériques. Il est limité :

- à l'est et au sud, par les reliefs du plateau de Bandiagara,
- à l'ouest, par le "delta mort", zone de dépôts anciens au dessus de l'actuel delta,
- et enfin, au nord, par une série de dunes orientées est-ouest.

Le delta intérieur du Niger montre quatre grands types morphologiques aux caractéristiques distinctes : haut delta, delta moyen, bas delta et nord dunaire (ou erg de Niafouké).

La partie amont et centrale en aval de Markala et Douna s'étend jusqu'aux lacs centraux (lacs Débo, Wallado, Korientze) et est composée de vastes zones inondées par la crue annuelle. Elle comprend le haut delta entre le Niger et le Bani et le delta moyen entre le Niger et le Diaka.

La partie aval qui s'étend des sorties des lacs centraux, avec trois axes drainants principaux (Issa Ber, Barra Issa, Koli Koli) jusqu'à Diré, où une géomorphologie très différente, caractérisée par une surimposition aux formes deltaïques antérieures d'un erg holocène orienté est-ouest, conduit à observer un réseau hydrologique très diffus, souvent commandé par les sillons interdunaires plus réduits.

La sécheresse des années 1980 a fortement limité l'hydraulicité du fleuve, provoquant un remplissage très limité des lacs périphériques, en particulier les lacs de rive droite et le lac Faguibine. L'ensemble de cette zone est donc particulièrement sensible au fonctionnement hydrologique du fleuve Niger et, hors des variations saisonnières ou interannuelles, deux aménagements sur le bassin amont ont déjà une importance non négligeable : Sélinguét et Markala.



Le delta intérieur à Kakagnan sur les berges du Mayol Bora



Le delta intérieur du Niger
(extrait de Y. Brunet-Moret *et al.*, ORSTOM, 1986)

Les dunes de rive gauche du Niger entre Bissaye et Taoussa ²

Le Niger en amont de Bourem



Le Niger à Taoussa

Le Niger moyen malien

En aval du delta intérieur, entre Koryoumé, port fluvial de Tombouctou, et la frontière malo-nigérienne, le Niger coule dans la partie dite non contributive du bassin versant. Même si, lors de la saison des pluies, certains petits bassins versants peuvent localement connaître des crues brutales, les écoulements proviennent presque exclusivement du delta intérieur par où transitent les eaux du bassin versant du Niger supérieur.

Sur le bief Taoussa-Ansongo, les alluvions quaternaires s'étalent dans une vallée dont le lit majeur a une largeur moyenne de 4 km et reposent sur la série sédimentaire du Continental Terminal ; les falaises précambriennes du Gourma bordent le lit majeur en rive droite. En rive gauche, les confluences des vallées fossiles issues de l'Adrar des Iforas, de l'Oued Essalaoua en amont de Bourem, du Tilemsi en amont de Gao, sont obstruées par des dépôts éoliens.

Les difficultés rencontrées par la navigation fluviale sur le Niger moyen (également dans le delta intérieur) depuis une trentaine d'années ont induit l'idée que le transport des sables par charriage avait considérablement augmenté, provoquant le dépôt de bancs sableux et l'ensablement de biefs autrefois navigables. L'ensablement du fleuve, lié à la concomitance d'une double dynamique, éolienne et de ruissellement, est incontestable. Mais, il est assez subjectif de penser qu'il y a plus de sables transportés par le fleuve aujourd'hui parce que l'on voit dans son lit un paysage de bancs de sables pendant six mois au lieu de trois, ou que les bancs de sables ont engraisé parce que la navigation n'est plus possible que quatre mois au lieu de six. Une autre raison de cette perception de l'ensablement du fleuve tient à ce que la tranche d'eau empruntée par la navigation est moins épaisse du fait de la faiblesse des crues. Soulignons que les bancs de sable se déplacent et que leur cartographie change au cours des décennies, entraînant ici ou là des nuisances dans les conditions d'accès fluvial à certains villages.

Une infinité de sous-bassins versants

La délimitation des bassins versants topographiques (voir définition en fin de document) est une information de premier ordre dans de nombreux domaines : recherche environnementale, gestion intégrée des ressources en eau, aménagement des territoires... Au niveau national et régional, les bassins versants fluviaux et leurs sous-bassins versants constituent des unités géographiques au niveau desquelles ont été créés de nombreux organismes de coopération et de gestion : Autorité du Bassin du Niger (ABN), Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), comités de bassin versant...

Jusqu'à une date récente, les bassins versants étaient tracés à partir des cartes topographiques à diverses échelles éditées par les instituts géographiques nationaux. La mise à disposition de modèles numériques de terrain (MNT) par la NASA et la NGA (SRTM 90 : mailles de 90 m de côté et précision métrique en altitude) permet un tracé plus précis et plus homogène des bassins versants par l'intermédiaire de logiciels spécialisés (RiverTools par exemple). Cependant, les limites des bassins versants demeurent souvent approximatives en raison de la faiblesse des reliefs (régions périphériques du delta intérieur et bassin versant du Gorouol) et de la présence de grands ergs au nord du delta intérieur et de l'axe Tombouctou-Bourem.

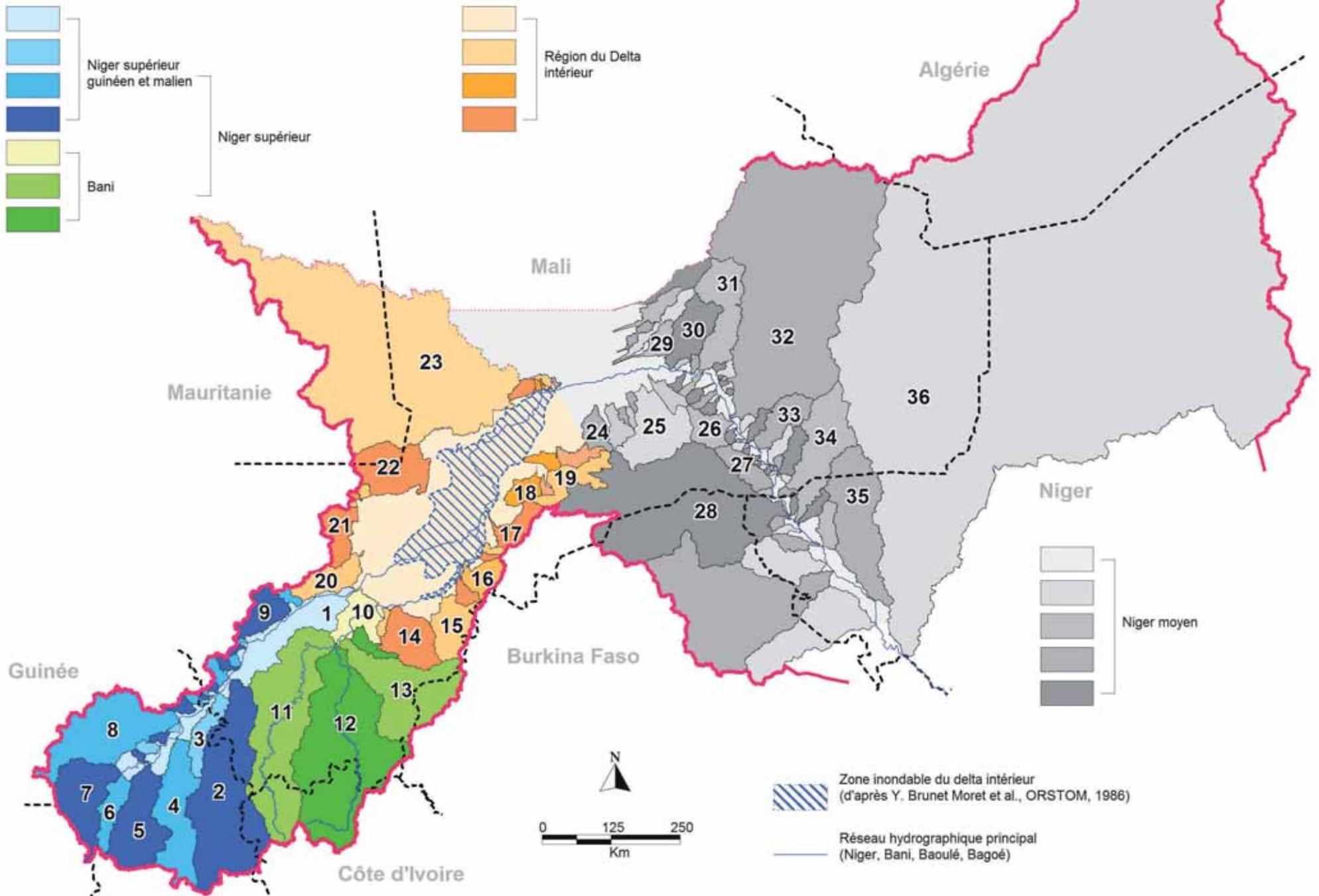
Parmi l'infinité de sous-bassins versants qu'il serait possible de tracer, seuls 120 de plus de 2 000 km² sont représentés sur la carte ci-contre. Les superficies ainsi que les répartitions par pays sont données pour 36 d'entre eux (tableaux ci-contre où les informations entre parenthèses sont approximatives).

		Km ²	Répartition (%)			
			Mali	Guinée	Côte d'Ivoire	Burkina Faso
Bassin supérieur du Niger (Niger + Bani)		233 100	46	41	10	< 3
1	Niger à Ségou	130 800	24	73	< 3	
	Niger à Koulikoro	118 400	16	81	< 3	
	Niger à Bamako	114 800	14	84	< 3	
	Niger à Kéniéroba	111 100	11	86	< 3	
	Niger amont confluence Niger-Sankarani	76 370	3	97		
	Niger à Banankoro	71 010	< 1	99		
2	Sankarani	33 460	24	66	10	
	Sankarani au barrage de Sélingué	32 140	21	69	10	
3	Fié	4 045	24	76		
4	Milo	13 590		100		
5	Niandan	12 930		100		
	Niandan au niveau du projet de Fomi	12 630		100		
6	Mafou	4 075		100		
7	Niger amont confluence Niger-Mafou	11 660		100		
8	Tinkisso	19 430		100		
9	Koda	4 940	100			
10	Bani à Douna	102 300	74	< 1	20	< 6
11	Baoulé	32 630	77	1	22	
	Baoulé amont confluence Banifing	23 690	68	1	31	
12	Bagoé	43 050	69		30	1
13	Banifing de Kouoro	19 570	73			27

		Km ²	Répartition (%)	
			Mali	Mauritanie
Région du delta intérieur				
14	(Zangoula)	7 900	100	
15	Banifing de San	6 560	100	
16	Diama	3 540	100	
17	Yamé de Bandiagara	3 570	100	
18	Kourarou	2 430	100	
19	(Imanan)	5 350	100	
20	Koloulou	5 090	100	
21	(Fala de Molodo 1)	4 740	100	
22	(Fala de Molodo 5)	10 080	73	27
23	Faguibine	(95 800)	(42)	(58)

		Km ²	Répartition (%)			
			Mali	Niger	Burkina Faso	Algérie
Niger moyen						
24	(Tin Essaoual)	2 620	100			
25	(Karouassa)	11 080	100			
26	(Arabou)	3 760	100			
27	(Imanan)	3 640	100			
28	Gorouol	(54 050)	(49)	(7)	(44)	
29	(Adrar 04)	(2 330)	100			
30	(Adrar 03)	6 720	100			
31	(Adrar 02)	10 790	100			
32	Tilemsi	93 920	100			
33	(Adrar 11)	5 060	100			
34	(Adrar 09)	13 630	84	16		
35	(?)	18 850	16	84		
36	Azaouagh	556 000	18	53		29

Quelques sous- bassins versants du Niger guinéen et malien





PRECIPITATIONS, ECOULEMENTS ET CRUES : DES SITUATIONS CONTRASTÉES

Une grande variabilité géographique des précipitations et des écoulements

Sur les petits bassins versants, des écoulements sporadiques et des crues brutales

Sur la portion malienne du Niger, une crue annuelle qui traverse le pays en près de trois mois

Une très forte variabilité des débits annuels

Des crues à la fois bénéfiques et dévastatrices



Une grande variabilité géographique des précipitations et des écoulements

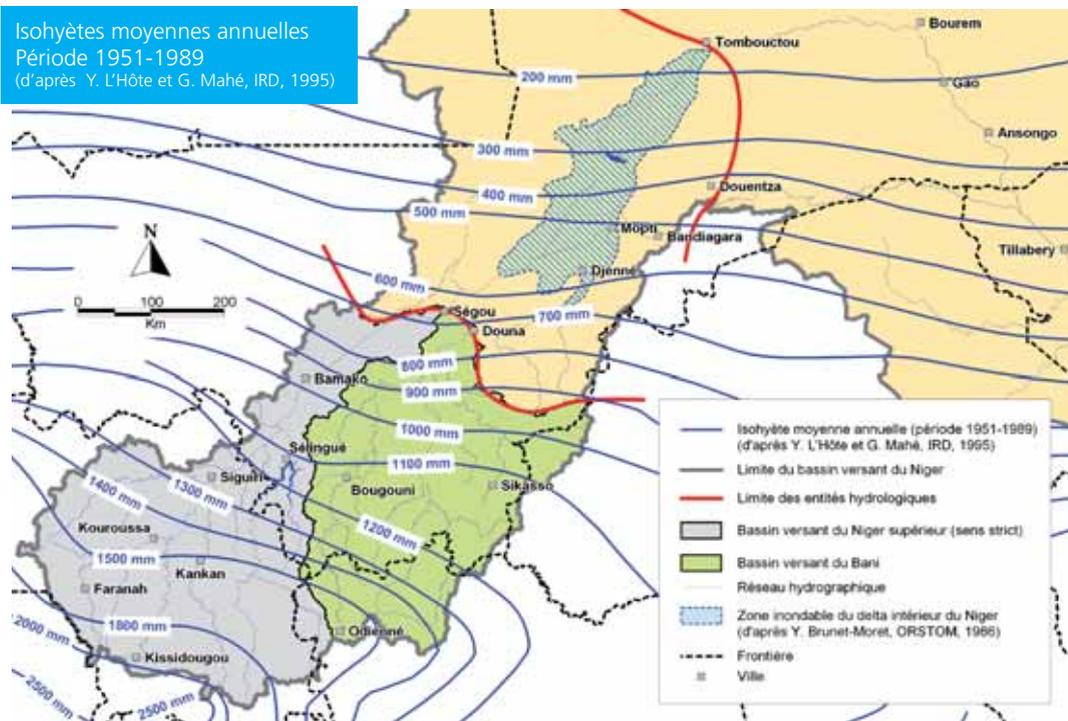
Il y a souvent une grande confusion entre les précipitations et les écoulements du fleuve et de ses affluents. Les précipitations et leur répartition sont essentielles pour les cultures sèches (mil, sorgho, coton...) et les pâturages. Le fonctionnement hydrologique du fleuve et par conséquent l'inondation du delta intérieur conditionnent les usages riverains : cultures de décrue, alimentation des périmètres irrigués, pâturages de bourgou dans le delta, pêche, production électrique...

Pour les précipitations, il faut considérer deux domaines : le domaine sahélien au nord du parallèle qui passe à Ségou avec des précipitations inférieures à 600 mm/an (moins de 200 mm/an au nord de Gao) et le domaine soudanien au sud, avec des précipitations pouvant dépasser 2 000 mm/an en Guinée, à l'extrême amont du bassin. De manière générale, les précipitations sont caractérisées par une forte irrégularité dans le temps et dans l'espace mais c'est dans le domaine sahélien que cette irrégularité est la plus forte.

On peut donc dire, sans trop d'erreurs, que chaque année il y a quelque part dans le nord du Mali (régions périphériques du delta intérieur, Gourma et rive gauche du Niger) un manque d'eau qui se traduit par des pénuries et des souffrances.

En fonction de la répartition des précipitations, de la taille et de la morphologie des bassins versants et du couvert végétal, les écoulements et la forme des hydrogrammes sont très différents.

Isohyètes moyennes annuelles
Période 1951-1989
(d'après Y. L'Hôte et G. Mahé, IRD, 1995)



SUR LE BASSIN VERSANT DU NIGER GUINÉEN ET MALIEN ①②③

222

- Précipitations moyennes annuelles* abondantes : 1 450 mm,
- Reliefs compris entre 280 m et 1 500 m d'altitude,
- Pentcs pouvant être relativement fortes en tête des bassins versants,
- Couvert végétal dominé par les savanes arborées et arbustives et les forêts denses sèches.

Les crues, souvent multiples, sont brutales avec des montées et des décrues rapides. Pendant la saison sèche et sur la partie guinéenne du bassin versant, seuls les plus petits cours d'eau peuvent connaître un arrêt complet des écoulements.

SUR LE BASSIN VERSANT DU BANI EN AMONT DE DOUNA ④⑤⑥

- Précipitations moyennes annuelles* : 1 150 mm,
- Couvert végétal relativement dense en tête de bassin versant.

Les débits sont beaucoup moins importants que sur le Niger guinéen et malien. En période d'étiage, le tarissement des cours d'eau est fréquent y compris des affluents principaux.

DANS LES RÉGIONS DU DELTA INTÉRIEUR ET DU NIGER MOYEN MALIEN ⑦⑧

- Précipitations moyennes annuelles** faibles : 450 mm sur le delta intérieur / 280 mm dans la région du Gourma,
- Reliefs peu importants (hors plateau Dogon) et pentes très faibles,
- Vaste zone d'inondation,
- Couvert végétal peu important à absent.

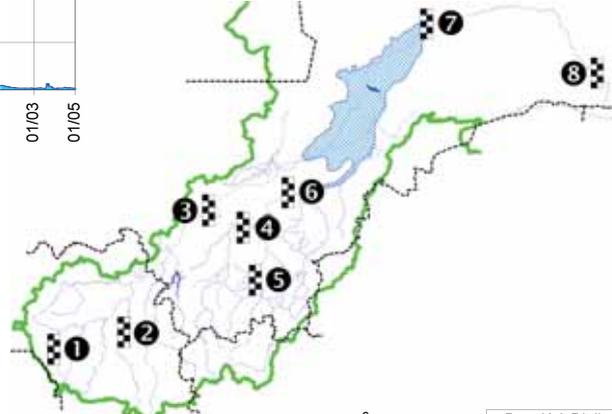
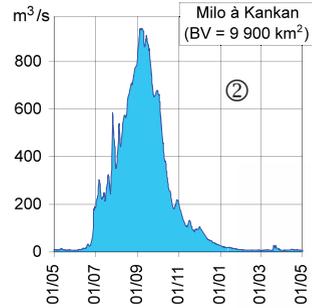
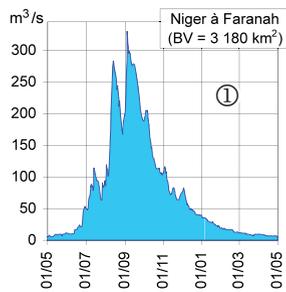
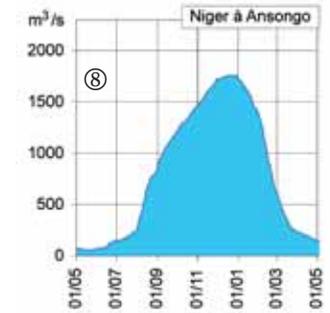
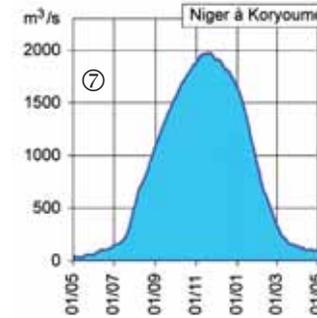
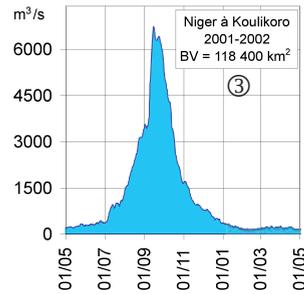
L'inondation du delta intérieur et les écoulements dans la boucle du Niger sont principalement tributaires des apports du Niger supérieur. Environ 3/4 de ces apports proviennent du Niger guinéen et malien et 1/4 du Bani. Mais des écoulements sporadiques peuvent avoir lieu sur les bassins versants riverains, dont ceux du plateau dogon.

* : Pluies moyennes annuelles calculées sur la période 1951-1989 (carte ci-dessus)
** : Valeurs calculées seulement pour les zones dont les pluies moyennes sont supérieures à 200 mm

Débits instantanés observés sur quelques stations hydrométriques entre le 01/05/2001 et le 01/05/2002 (N.B. : les échelles de débit sont différentes en fonction de l'amplitude des écoulements)



Le Niger en aval de la confluence Niger-Sankarani



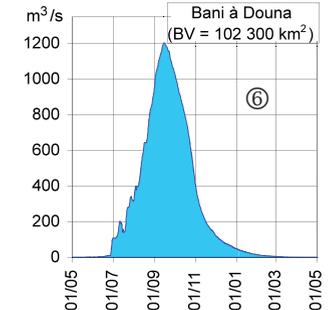
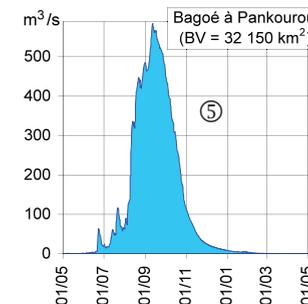
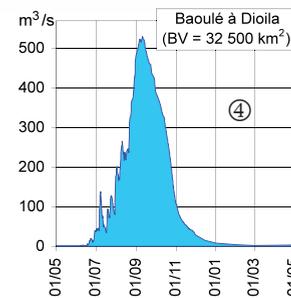
Le Niger en amont de Gao



Le Bagoé à Pankourou



Le Milo en amont de Kankan



Sur les petits bassins versants, des écoulements sporadiques et des crues brutales

Nous disposons de peu d'informations sur le fonctionnement hydrologique des petits cours d'eau sur lesquels le suivi des hauteurs d'eau et la réalisation des mesures de débit sont généralement très contraignants et difficiles. Sur les plus petits bassins versants, les écoulements sont le plus souvent temporaires quelle que soit la région.

Nous prenons ici l'exemple de la station hydrométrique de Koumbaka située dans la région de Djenné. Cette station suivie de manière ininterrompue de 2005 à 2008 contrôle un bassin versant de 31,8 km². Pendant la saison des pluies, les écoulements sous forme de crue rapide répondent à des averses localisées. Entre chaque crue, les écoulements sont insignifiants et peuvent cesser. Parmi les 75 crues observées pendant les quatre années d'observation, la crue du 12 au 14 août 2005 (figures ci-contre) est la plus importante. En 1h30, le débit de cette petite rivière est passé de 0,1 m³/s à 93,7 m³/s pour une variation de 1,30 m de son niveau d'eau.

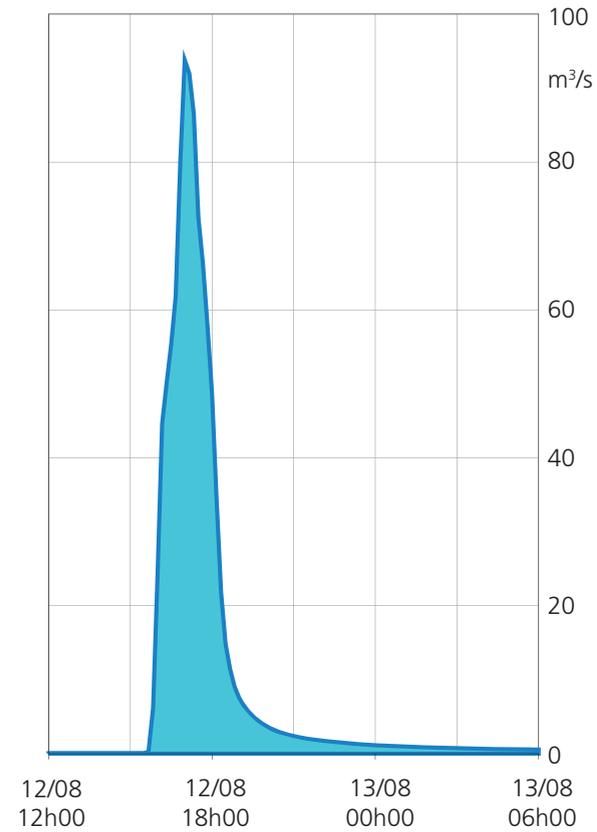
Ce type de crue, particulièrement brutale et imprévisible, présente un réel danger pour la population et les infrastructures.



Pont de la route de Bandiagara détérioré lors d'une crue ²

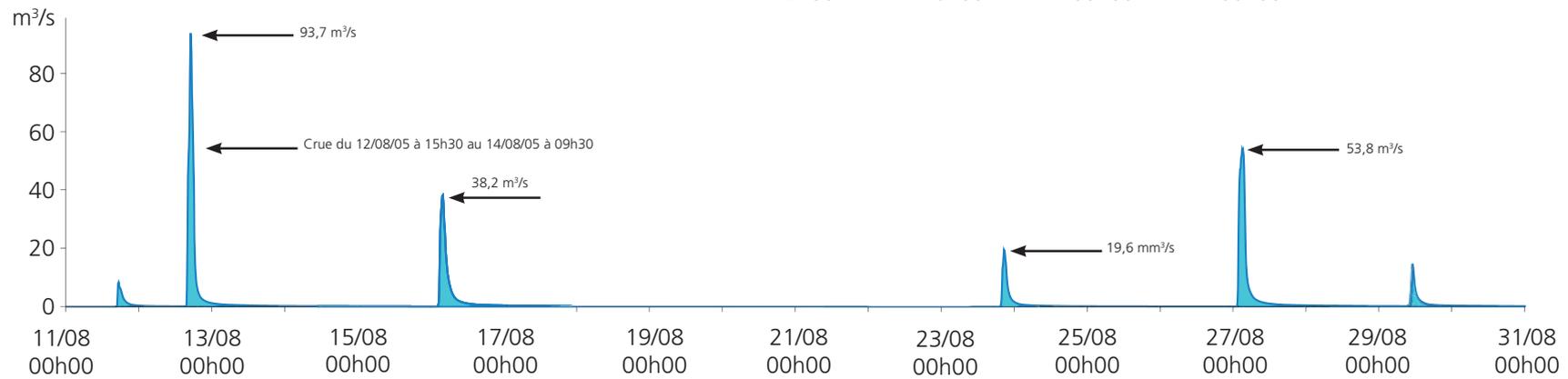


Station hydrométrique de Koumbaka (H2)



Station de Koumbaka (H2)
 Crue du 12/08/05 à 15h30 au 14/08/05 à 09h30
 Temps de base : 42h00
 Temps de montée : 01h30
 Débit max. : 93.7 m³/s
 Volume écoulé : 653 240 m³

Débits instantanés observés à Koumbaka (H2) entre le 11/08 et le 31/08/2005



Sur la portion malienne du Niger, une crue annuelle qui traverse le pays en près de trois mois

Sur le territoire malien, le Niger connaît une crue annuelle. Cette crue, véritable vague qui traverse le Mali en près de trois mois, change au long de son parcours tant en ce qui concerne ses dates de début, de fin et de son maximum que son amplitude. C'est ce qui est appelé "propagation et amortissement de l'onde de crue".

Les moyennes des débits journaliers observés entre 1950 et 2005 sur quelques stations hydrométriques du Mali (figure ci-contre) montrent que les débits de pointe de crue surviennent en moyenne vers la fin du mois de septembre à Koulikoro et à Douna, à la mi-octobre à Mopti, à la mi-novembre à Diré et dans la dernière décade de décembre à Ansongo. Les moyennes des débits journaliers de Kankan en Haute Guinée, données à titre indicatif sur cette figure, ne montrent qu'un déphasage de 3 jours par rapport à Koulikoro, témoignant de la rapidité des transferts de flux sur le bassin versant du Niger supérieur.

La prévision à 1-3 mois de l'inondation du delta intérieur du Niger et des écoulements sur le Niger moyen malien est donc théoriquement possible avec une bonne précision à partir des seules observations faites sur les stations principales du Niger supérieur malien et guinéen (Banankoro, Bamako, Koulikoro) et du Bani (Dioila, Pankourou).

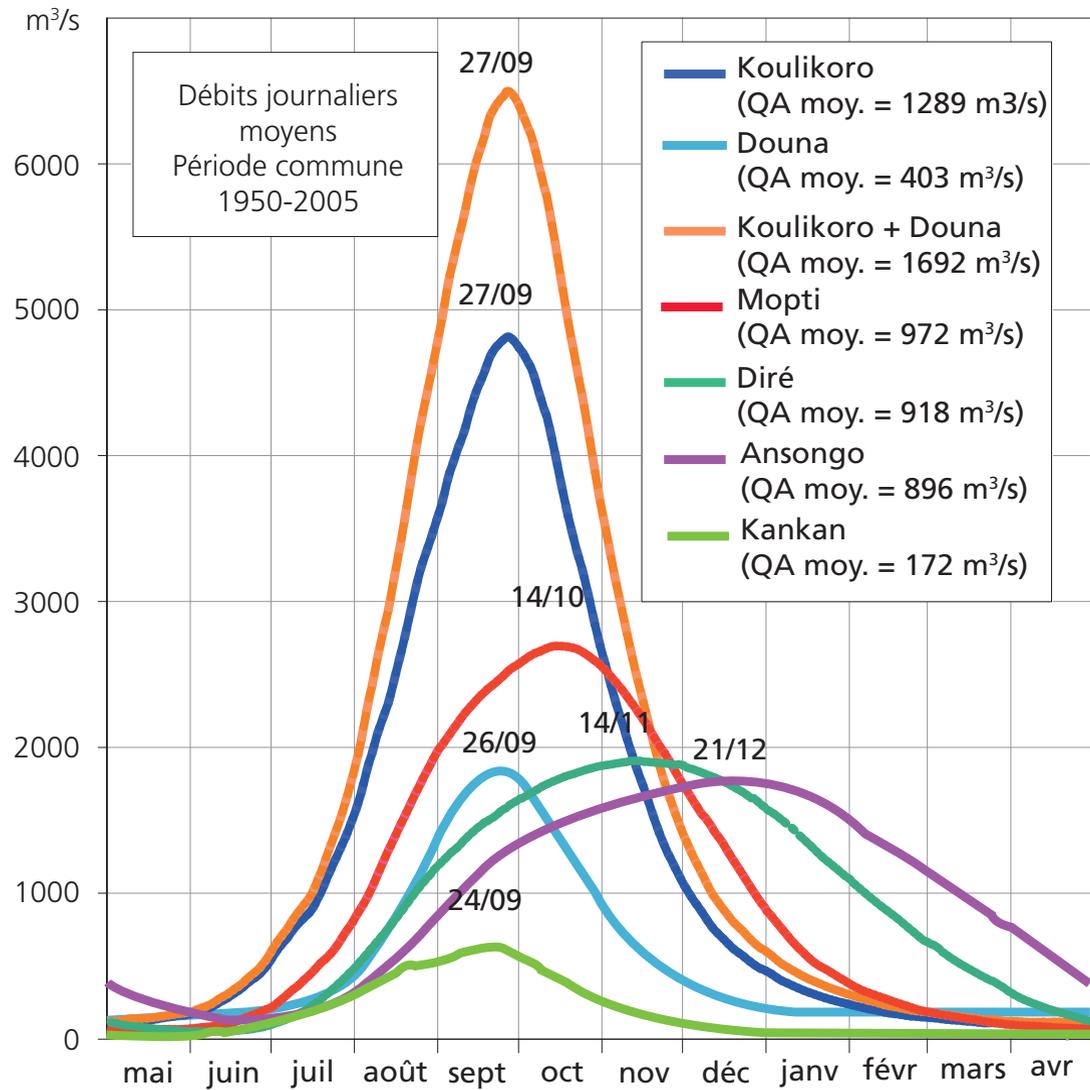
La figure ci-contre montre également l'écart entre les débits entrants dans le delta intérieur du Niger (Koulikoro + Douna ; 1 692 m³/s) et ceux observés à Diré (918 m³/s), ville proche de sa sortie. Entre 1950 et 2005, les pertes moyennes dans le delta intérieur, principalement par évaporation, correspondent à 48 % du débit entrant.

	Koulikoro	Mopti	Diré	Ansongo
Kankan	3	20	51	88
Koulikoro		17	48	85
Mopti			31	68
Diré				37

Temps moyen de propagation de la pointe de crue du Niger entre quelques villes (en nombre de jours)



Le delta intérieur du Niger dans la région du lac Débo



Une très forte variabilité des débits annuels

Outre les précipitations directes et quelques écoulements sporadiques provenant du plateau de Bandiagara et des petits bassins versants riverains du fleuve, les apports au delta intérieur du Niger et au Niger moyen malien proviennent essentiellement des bassins versants du Niger supérieur guinéen et malien ($\approx 3/4$) et du Bani ($\approx 1/4$). L'irrégularité interannuelle des écoulements et de l'inondation du delta intérieur du Niger peut donc être examinée à partir des observations faites aux stations hydrométriques du Niger à Koulikoro et du Bani à Douna.

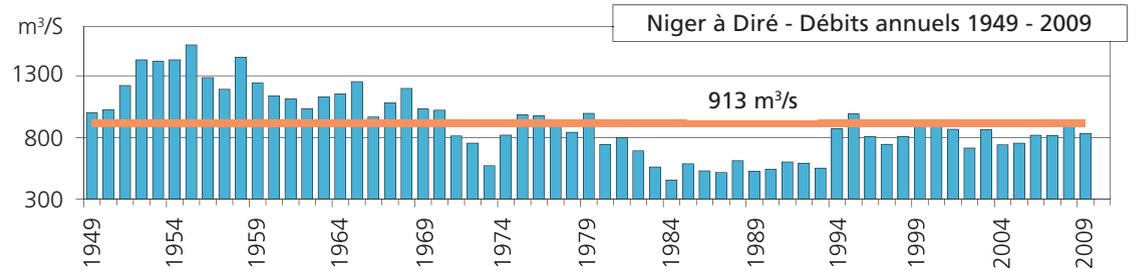
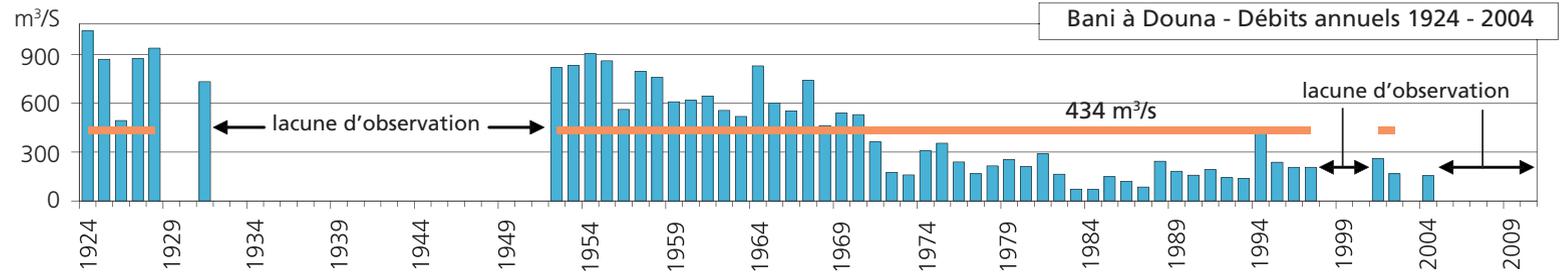
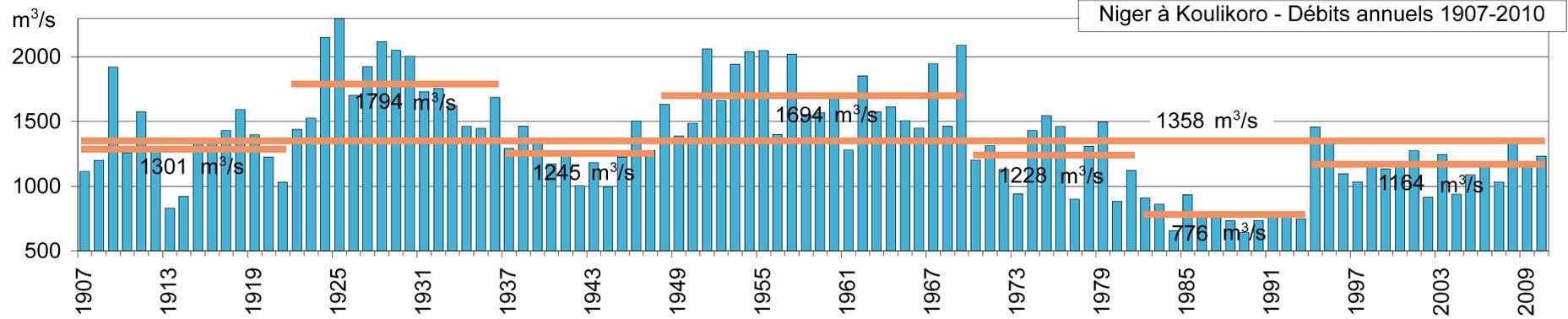
Sur le bassin versant du Bani, les observations faites sur les stations hydrométriques de Pankourou, Dioila et Douna montrent que, depuis 1994, les écoulements annuels sont très inférieurs à ceux observés entre 1952 et 1981 (-36% à -51%). Ces déficits d'écoulement, très supérieurs à ceux observés sur le bassin du Niger supérieur guinéen et malien, seraient principalement dus à l'anthropisation du bassin versant (voir page 40).

Les débits moyens annuels ou modules donnent une traduction des volumes d'eau écoulés annuellement en un point du réseau hydrographique. A la station hydrométrique de Koulikoro, trois types de situations ont été observés depuis plus d'un siècle :

- des périodes à forte hydraulité de 1922 à 1936 et de 1948 à 1969,
- une période aux écoulements particulièrement faibles entre 1982 et 1993,
- des périodes «intermédiaires» (un total de 54 années) dont celle observée depuis 1994.

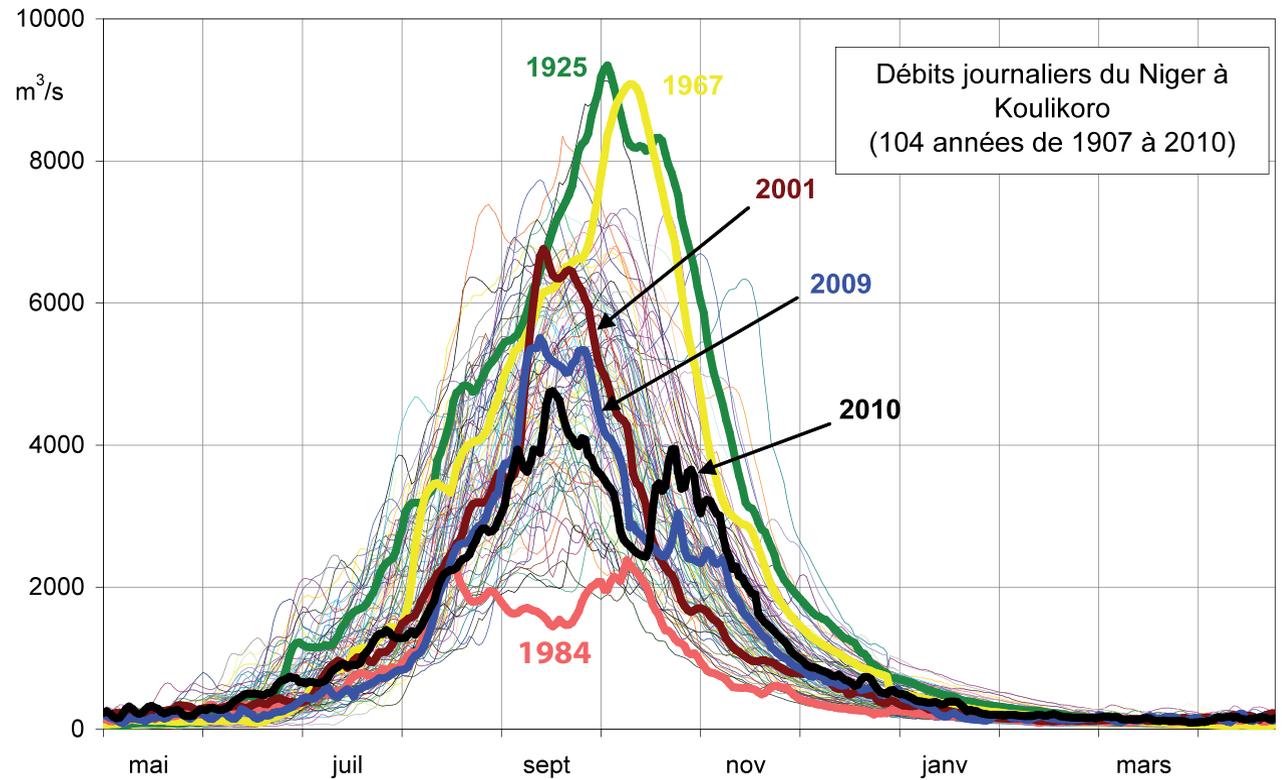
Sur le Bani (Douna), ces grandes fluctuations sont similaires. On les retrouve évidemment plus en aval dans le delta intérieur (à Diré) et sur le Niger moyen malien. Avec un coefficient de variation (CV) de 0,28 (tableau ci-contre), les volumes écoulés annuellement à Koulikoro présentent une forte variabilité interannuelle. Sur le Niger supérieur guinéen et malien, la moyenne des débits annuels observés à Koulikoro depuis 1994 est de 1164 m³/s soit -14% par rapport à l'ensemble de la série observée et -23% par rapport à la période 1952-1981 mais avec une stabilité relativement remarquable (CV= 0,12).

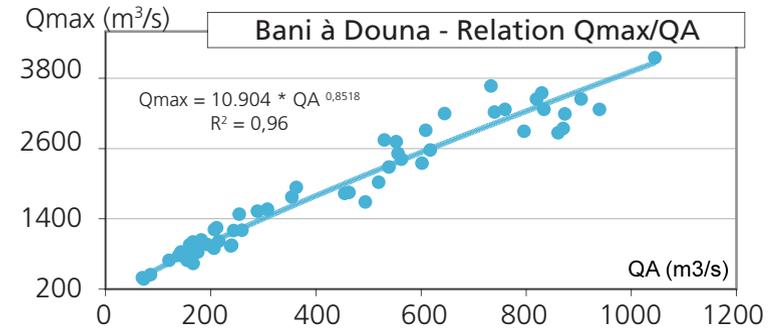
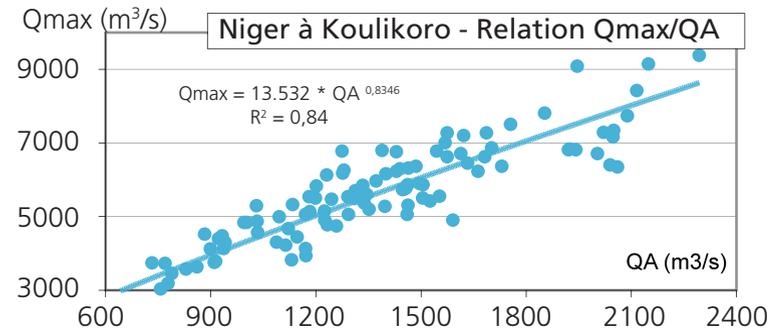
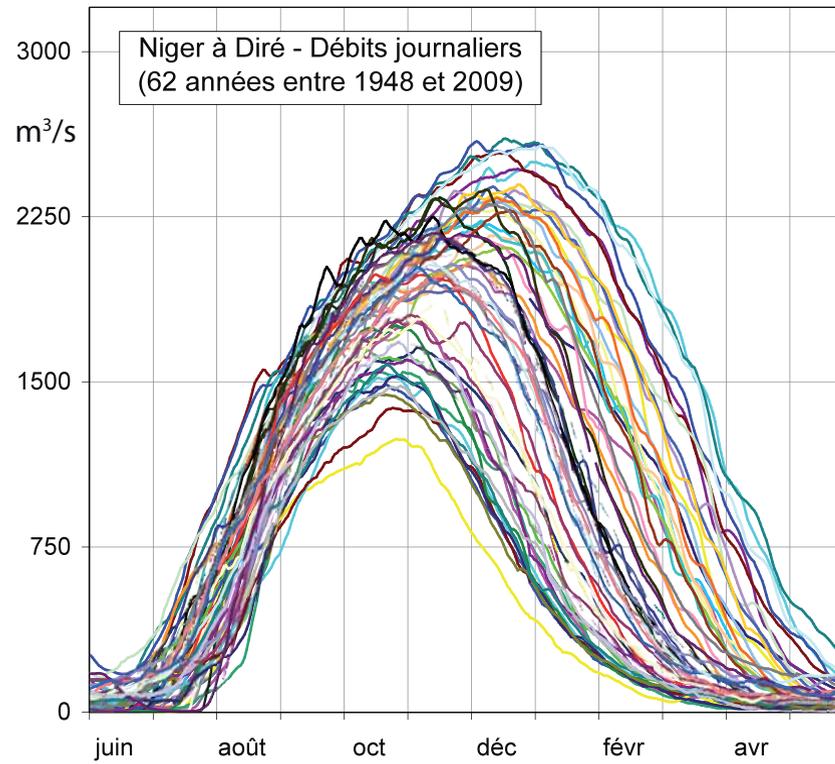
Niger à Koulikoro		Coefficient de variation (CV)
Période de référence	1907-2010	0,28
Période récente	1994-2010	0,12
Période à faible hydraulité	1982-1993	0,11
Périodes intermédiaires	1907-1921	0,21
	1937-1947	0,12
	1970-1981	0,18
	1994-2010	0,12
	4 périodes	0,17
Périodes à forte hydraulité	1922-1936	0,15
	1948-1969	0,15
	2 périodes	0,15



De manière générale, à des débits annuels forts correspondent des écoulements largement répartis sur l'année (entre juin et décembre à Koulikoro) et présentant des débits de pointe de crue importants (1925, 1967 par exemple). Mais les relations entre les débits annuels et les maximums annuels sont relativement médiocres (voir figures ci-contre). La répartition des écoulements est donc assez différente d'une année à l'autre. Ainsi, à Koulikoro le débit annuel de 2009 a été de 1 181 m³/s et celui de 2010 de 1 233 m³/s alors que les débits maximums ont été respectivement de 5 535 m³/s et 4 776 m³/s (figure ci-contre). La superposition des 104 courbes annuelles de débits journaliers observés à Koulikoro montre des dates de début, de maximum et de fin de crue très différentes avec des décalages de 1 à 2 mois par rapport aux dates moyennes. Les mêmes écarts sont observés sur le Bani mais avec une période d'étiage plus longue. En aval du delta intérieur du Niger ces décalages sont encore plus importants, notamment lors de la décrue.

Il y a donc sur le Niger et ses affluents une très forte variabilité des écoulements interannuels. La notion de «situation normale» n'a guère de sens. Toutefois, soulignons que pour le Niger guinéen et malien, la période récente (depuis 1994) correspond à la situation la plus couramment observée depuis 1907.





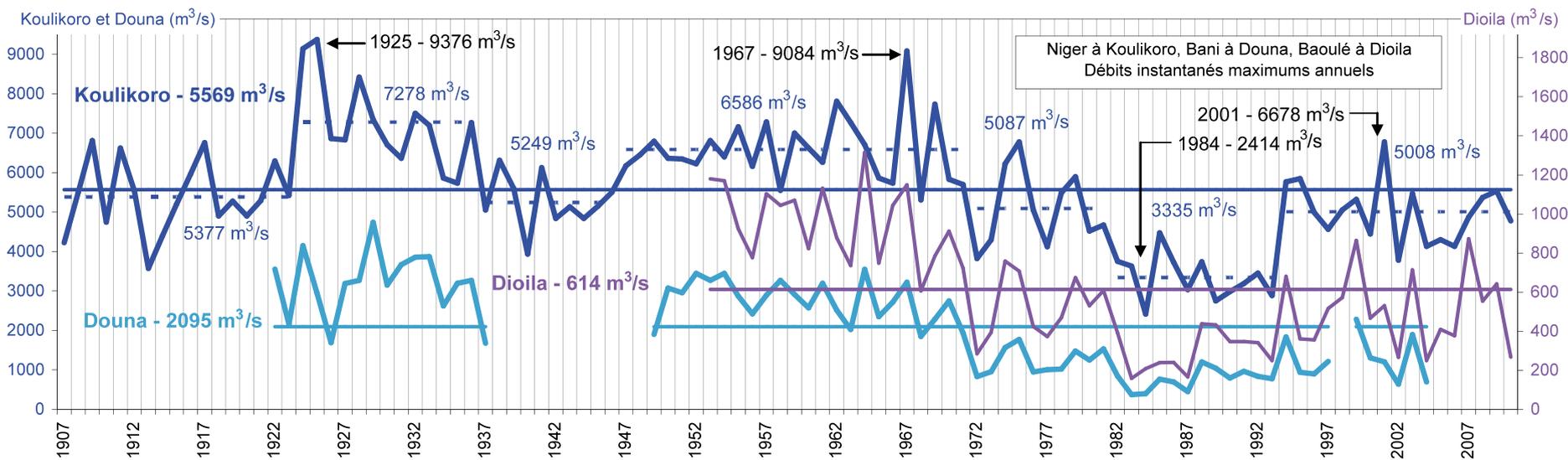
Des crues à la fois bénéfiques et dévastatrices

Sur les petits bassins versants, les crues, brutales et imprévisibles, présentent un réel danger pour la population et sont souvent à l'origine de la détérioration, voire de la destruction des petits aménagements (ponts, radiers, petits barrages...).

Sur le Niger et le Bani ainsi que dans le delta intérieur, lorsque les niveaux d'eau atteints et les volumes écoulés sont importants, les surfaces irriguées en submersion contrôlée comme sur les périmètres des Offices Riz de Ségou et Mopti sont d'autant plus importantes ; l'inondation du delta intérieur et des plaines alluviales couvre des zones plus vastes permettant le développement du bourgou et favorisant les pêches lors de l'étiage suivant. Enfin, la persistance des hautes et moyennes eaux laisse plus de temps à la navigation fluviale. Ces « bonnes crues », généralement accom-

pagnées de précipitations favorables à l'agriculture sèche et aux pâturages sur une grande partie du bassin versant, ont été très fréquentes avant 1970, laissant encore aujourd'hui l'image d'un fleuve docile et généreux. En revanche, les aspects parfois dévastateurs de ce type de situation passent au second plan. Ainsi, par exemple, la crue de 1967, bien ancrée dans les mémoires, a contribué à l'inondation partielle de la ville de Bamako, inondation qui aurait atteint le niveau de la cathédrale. Mais soulignons que deux crues plus importantes ont été mesurées en 1924 et 1925 à Koulikoro. De la même manière, la crue de 2001 a occasionné la destruction presque totale des exploitations bananières des berges du Sankarani en aval du barrage de Sélingué.

L'analyse des débits de crue est faite à partir des débits observés aux stations de Koulikoro (BV = 118 400 km²) sur le Niger, de Douna (BV = 102 300 km²) et de Dioila (BV = 35 500 km²) sur le Baoulé, un des principaux affluents du Bani. Sur ces trois stations, les débits maximaux annuels observés (Q_{maxA}) connaissent des variations semblables à celles des débits moyens annuels (chapitre précédent).



A Koulikoro, la moyenne des débits maximums annuels ($\overline{Q_{\max A}}$) est de 5 569 m³/s entre 1907-2010. Sur cette période, trois situations peuvent être dégagées :

- $\overline{Q_{\max A}}$ faibles (< 3 500 m³/s), soit 12 années entre 1982 et 1993 ;
- $\overline{Q_{\max A}}$ inférieures à la moyenne (5 000 m³/s à 5 400 m³/s), soit 54 années entre 1907-1923, 1937-1946, 1972-1981 et 1994-2010 ;
- $\overline{Q_{\max A}}$ fortes (> 6 500 m³/s), soit 38 années entre 1924-1936 et 1947-1971.

	Koulikoro			Douna			Dioila		
	Période	Nb années observées	$\overline{Q_{\max A}}$ (m ³ /s)	Période	Nb années observées	$\overline{Q_{\max A}}$ (m ³ /s)	Période	Nb années observées	$\overline{Q_{\max A}}$ (m ³ /s)
(a)	1907-2010	104	5 569	1922-2004	71	2 095	1953-2010	58	614
(b)	1982-1993	12	3 335	1982-1993	12	759	1982-1993	12	296
(c)	1907-1923	17	5 377						
	1937-1946	10	5 249						
	1972-1981	10	5 087	1972-1981	10	1 235	1972-1981	10	522
	1994-2010	17	5 008	1994-2004	11	1 289	1994-2010	17	512
(d)	1924-1936	13	7 278	1924-1936	13	3 354			
	1947-1971	25	6 586				1953-1971	19	954

Moyennes des débits maximums instantanés annuels pour différentes périodes d'observation séries complètes (a), périodes à faible hydraullicité (b), intermédiaires (c) et à forte hydraullicité (d)

Maxi.	05/10/1925	9 376 m ³ /s	07/10/1929	4 739 m ³ /s	06/09/1964	1 315 m ³ /s
Mini.	11/10/1984	2 414 m ³ /s	28/09/1983	372 m ³ /s	05/09/1983	158 m ³ /s

Débits maximums instantanés annuels observés



A Bamako, des habitations « à fleur d'eau » - Le niveau d'eau atteint par le Niger lors de la crue du 12/10/1967 se situait à 1,34 m au-dessus de celui de cette photographie du 16/09/2009...

Ordre	Date	Débit (m ³ /s)	Ordre	Date	Débit (m ³ /s)
1	05/10/1925	9 376	13	29/09/1955	7 161
2	05/10/1924	9 143	14	28/09/1959	7 002
3	12/10/1967	9 084	15	23/09/1926	6 864
4	21/09/1928	8 421	16	08/10/1927	6 829
5	25/09/1962	7 808	17	11/09/1909	6 812
6	14/09/1969	7 736	18	04/09/1953	6 812
7	19/09/1932	7 503	19	22/09/1949	6 795
8	11/10/1929	7 341	20	06/10/1975	6 778
9	21/09/1957	7 287	21	15/09/2001	6 778
10	06/10/1936	7 269	22	19/09/1917	6 760
11	23/10/1963	7 269	23	09/10/1930	6 709
12	13/09/1933	7 197	24	05/10/1964	6 709

24 plus forts débits maximums instantanés annuels observés à Koulikoro entre 1907 et 2010

Ordre	Date	Débit (m ³ /s)	Ordre	Date	Débit (m ³ /s)
1	11/10/1984	2 414	13	25/09/2002	3 781
2	15/10/1989	2 747	14	26/09/1972	3 823
3	26/09/1993	2 882	15	18/10/1940	3 936
4	22/09/1990	2 983	16	24/09/1977	4 122
5	07/10/1987	3 033	17	05/10/2004	4 131
6	13/09/1991	3 188	18	30/09/2006	4 131
7	17/09/1992	3 453	19	20/09/1907	4 223
8	18/09/1913	3 574	20	25/08/1973	4 297
9	27/09/1983	3 629	21	04/10/2005	4 301
10	28/09/1986	3 726	22	04/10/1914	4 400
11	16/09/1988	3 740	23	05/10/2000	4 444
12	16/09/1982	3 753	24	25/09/1985	4 474

24 plus faibles débits maximums instantanés annuels observés à Koulikoro entre 1907 et 2010



IMPACT DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES ET DE L'ANTHROPISATION DES BASSINS VERSANTS

Des écoulements modifiés par les grands aménagements hydrauliques
D'autres usages de l'eau aux impacts peu perceptibles sur les cours d'eau ou
insuffisamment connus
Un avenir incertain



Le barrage de Talo sur le Bani

Des écoulements modifiés par les grands aménagements hydrauliques

L'analyse des débits d'étiage (basses eaux) est complexe en raison de la présence de grands aménagements hydrauliques sur les bassins versants.

Au Mali, il n'existe actuellement que quatre grands aménagements sur le Niger supérieur et le delta intérieur : le barrage de Sélingué sur le Sankarani, l'usine hydroélectrique de Sotuba et le barrage de Markala sur le Niger, le barrage de Talo sur le Bani. Soulignons que le barrage de Sotuba n'a aucun impact sur les écoulements.

L'histogramme des débits mensuels moyens observés sur le Sankarani en aval du barrage de Sélingué (figure ① ci-contre) montre une répartition très différente des écoulements entre les périodes 1964-1980 et 1982-1998. Jusqu'en 1980 et pendant l'hivernage, les débits importants correspondent à des années de forte hydraulicité (voir chapitres précédents). A partir de 1982, les débits d'étiage, beaucoup plus importants, sont à attribuer au fonctionnement de l'usine hydroélectrique de Sélingué qui restitue pendant la période sèche le volume d'eau stocké dans le réservoir pendant l'hivernage. A l'aval, ce soutien des étiages est important jusque sur le Niger moyen et la frontière malino-guinéenne.

Les modifications du régime hydrologique ont un effet beaucoup plus marqué sur les basses eaux ainsi que sur la régularité des écoulements. Ainsi, sur le Niger à Koulikoro, l'examen des débits instantanés minimums annuels ($Q_{\min A}$) observés et leurs moyennes sur diverses périodes ($\overline{Q_{\min A}}$) montrent clairement deux périodes principales (figure ② ci-contre) :

- de 1907 à 1981, période de débits naturels pendant

laquelle la $\overline{Q_{\min A}}$ était de $46 \text{ m}^3/\text{s}$;
- de 1982 à 2009, après la construction du barrage de Sélingué, la $\overline{Q_{\min A}}$ est de $92 \text{ m}^3/\text{s}$, soit exactement deux fois plus que sur la période précédente.

Les périodes à faible ou forte hydraulicité décrites précédemment sont également bien visibles mais avec quelques décalages. Soulignons que la période de plus faible hydraulicité (1982-1993) est masquée par les apports de Sélingué.

Dans son régime naturel, les fluctuations du Sankarani étaient relativement régulières et lentes comme le montre la partie gauche de la figure ③ ci-contre. La mise en service de l'usine de Sélingué en 1982 s'est traduite par des lâchers variables donnant au limnigramme la forme « hachée » que l'on trouve sur la partie droite de cette figure.

Les lâchers du barrage de Sélingué se traduisent en aval par des fluctuations brutales du niveau de l'eau et des débits ; fluctuations que l'on retrouve évidemment sur le Niger et jusqu'à l'entrée du delta intérieur.

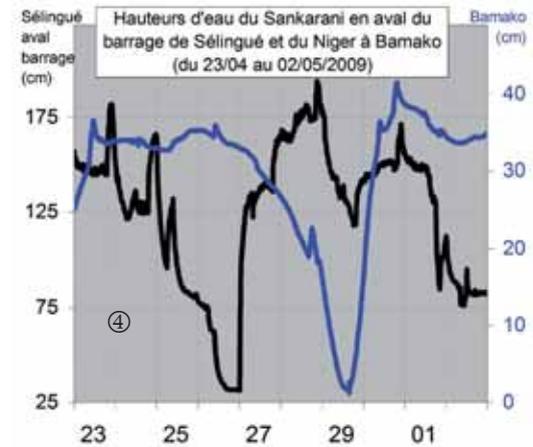
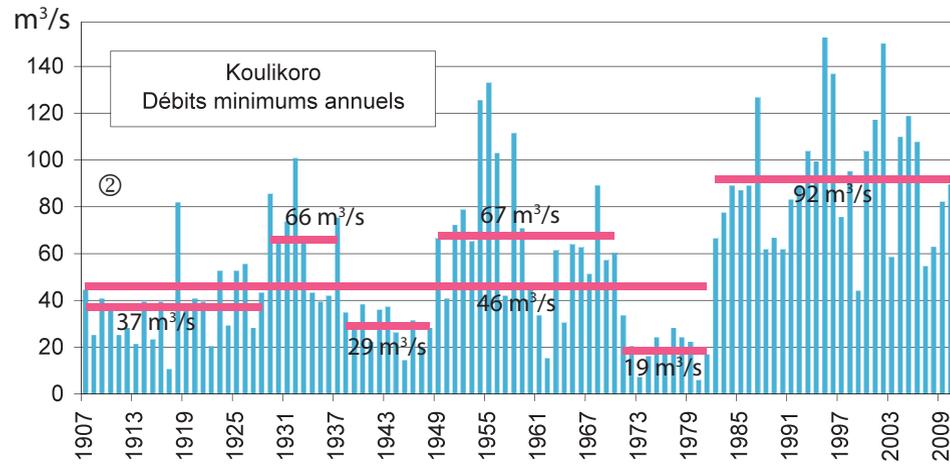
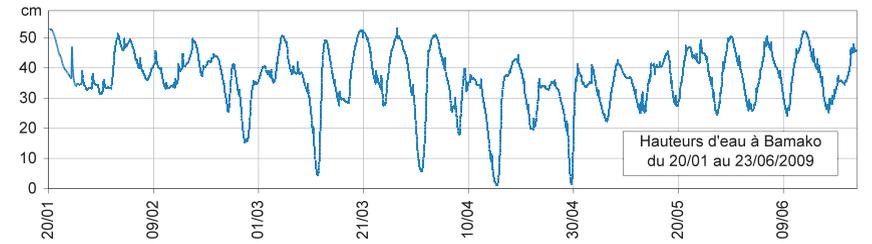
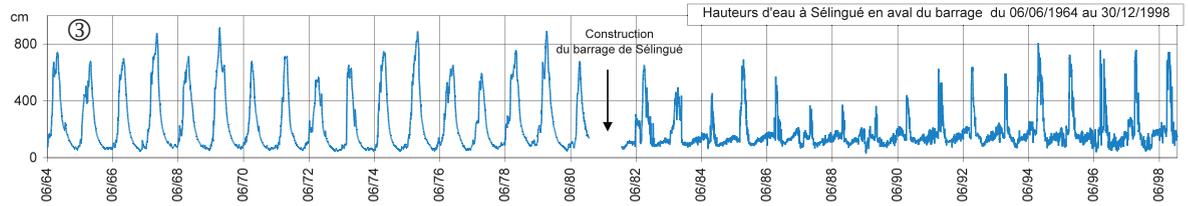
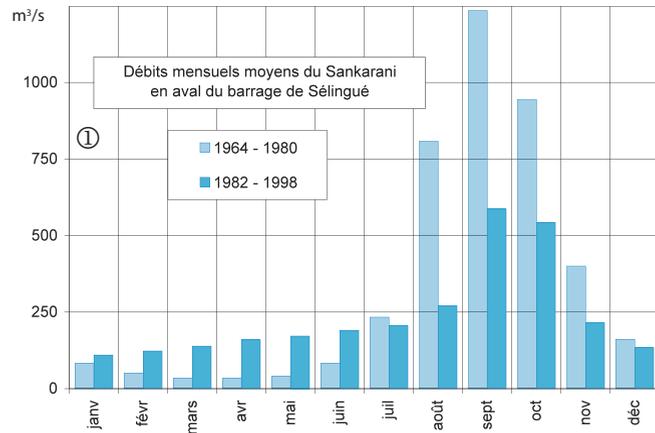
Sur le Niger, l'amplitude de ces fluctuations n'est pas constante. Elle dépend de leur amortissement et de la morphologie des biefs. A titre d'exemple, (figure ④ ci-contre), la baisse des écoulements issus du barrage de Sélingué entre le 24 et 26 avril 2009 s'est traduite par une chute du niveau de l'eau d'environ 40 cm entre le 26 et le 30 avril à Bamako.

La modification des écoulements du fleuve Niger due au barrage de Sélingué et au fonctionnement de son usine hydroélectrique présente des inconvénients.

Certaines pratiques de pêche sont perturbées par les très nombreuses fluctuations du niveau de l'eau, la montée de crue du fleuve est retardée et l'inondation du delta intérieur est relativement moins importante. Toutefois, outre la production électrique, l'aménagement présente de nombreux avantages notamment en période d'étiage : alimentation de grands périmètres irrigués en contre-saison ; maintien d'un débit minimum à l'entrée du delta intérieur ; développement du transport fluvial sur le Niger notamment entre sa confluence avec le Sankarani et Bamako ; facilitation de l'irrigation par moto-pompage.



Pinasses de transport de sable sur le Niger entre Djoliba et Bamako



Le barrage de Sélingué permet l'alimentation en contre-saison de plusieurs périmètres fonctionnant en maîtrise totale de l'eau : Sélingué (1 350 ha), Maninkoura (1 094 ha), Baguinéda (2 600 ha) et Office du Niger (\approx 100 000 ha). Les prélèvements en eau de ces périmètres sont considérables et ont un impact sur les écoulements du fleuve Niger. Les plus importants sont ceux du barrage de Markala qui alimente les périmètres de l'Office du Niger (Off. N.). Les débits mensuels observés à Koulikoro et à Diamarabougou (station de Kirango en aval du barrage), ainsi que les débits réservés et de prise, sont représentés sur la figure ci-contre, où les moyennes mensuelles de prise sur la période 1989-2004 sont issues d'une étude de l'ABN (2007). En considérant que les apports ou les pertes entre Koulikoro et Markala sont négligeables de janvier à juin, cette figure montre les points suivants.

- A Koulikoro, le fonctionnement du barrage de Sélingué a profondément modifié le régime du fleuve depuis 1982 tant en ce qui concerne les débits moyens (1 et 2) que les débits minimums (3 et 4).

- A Koulikoro, les moyennes sur les périodes 1982-2010 et 1989-2004 sont proches (5 et 2 ; 6 et 4). La période 1989-2004 correspondant aux débits moyens de prise donnés par l'ABN représente donc assez bien la situation observée depuis la construction du barrage de Sélingué.

- Avec le soutien des étiages par le barrage de Sélingué, les débits du Niger (5) sont le plus souvent suffisants pour satisfaire les besoins (c). Mais, les minima observés à Koulikoro (6) et en aval du barrage de Markala (9) montrent que les débits disponibles peuvent être très insuffisants (février à mai). Notons que l'arrêt de l'usine hydroélectrique de Sélingué en juin 1999 n'a permis de satisfaire ni le débit réservé à l'entrée du delta intérieur (a) ni les besoins en eau de l'Office du Niger (b).

Entre juillet et décembre, les prélèvements mensuels de l'Office du Niger (entre 1989-2004, source ABN, 2007) sont compris entre 3% et 14% des débits moyens observés à Koulikoro. Même si la demande en eau est largement satisfaite, elle n'en reste pas moins relativement importante durant l'hivernage. Mais l'accroissement des surfaces irriguées dans la zone de l'Office du Niger et dans la région de Ké Macina (plusieurs centaines de milliers d'hectares envisagés) aura évidemment un impact plus important. En revanche, les cultures en contre saison n'y seront possibles qu'avec le soutien des étiages par de nouveaux barrages (dont le projet de Fomi en Guinée).

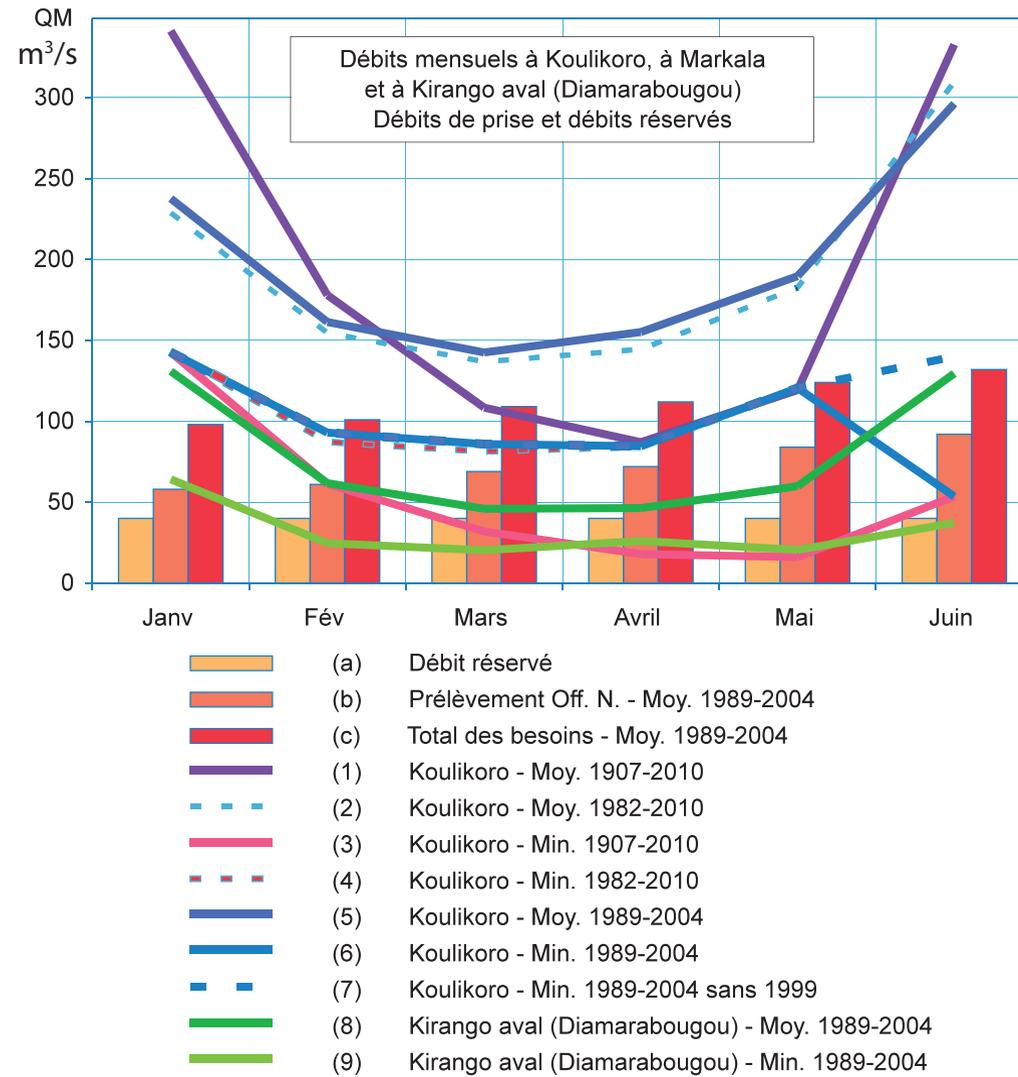
Cette approche montre la difficulté et l'intérêt d'une gestion concertée des ressources en eau où les intérêts sectoriels (ici production électrique et irrigation) peuvent être contradictoires (conflits d'usage).



² Le barrage de Sélingué



² Le barrage de Markala



D'autres usages de l'eau aux impacts peu perceptibles sur les cours d'eau ou insuffisamment connus

Le premier des usages de l'eau auquel on pense est celui de l'alimentation en eau potable et plus généralement l'utilisation domestique de l'eau (boisson, hygiène, cuisine, nettoyage...). En supposant une consommation de 100 l/j et par habitant, chiffre sans doute très supérieur à la réalité, la consommation en eau domestique de la ville de Bamako (environ 2 millions d'habitants) n'a représenté qu'environ 2% du plus faible débit journalier observé sur le Niger en 2010. Ce seul exemple montre que les prélèvements en eau à usage domestique sur le fleuve Niger ont très peu d'impact sur son régime et sont insignifiants par rapport à ceux de l'agriculture irriguée (chapitre précédent). Cela ne signifie pas que l'alimentation en eau potable, préoccupation nationale, puisse être résolue par de simples prélèvements sur le fleuve et ses affluents. Certains quartiers excentrés de Bamako ainsi que les villes et villages riverains de cours d'eau non pérennes et les régions du nord Mali doivent faire appel aux eaux souterraines. Soulignons que, pour des raisons sanitaires, l'alimentation en eau potable a des exigences de qualité. La préservation de la qualité des eaux de surface ou souterraines doit donc être considérée comme un enjeu majeur pour l'avenir.

Seuls quelques exemples d'aménagement et d'utilisation des eaux de surface ayant un impact sur le régime hydrologique des cours d'eau ont été abordés précédemment (hydroélectricité, irrigation, alimentation en eau potable) mais on peut dire que les usages de l'eau et l'utilisation des cours d'eau et des zones inondables sont omniprésents sans pour autant attirer l'attention : navigation, pêche, élevage,

exploitation de sable et de gravier, orpaillage, teinturerie, tourisme... Ces usages ont souvent un impact sur les eaux de surface (fleuve, rivières, lacs, mares...) et souterraines et leurs ressources ; impact dont on connaît peu l'ampleur sur le régime hydrologique, la qualité des eaux, la morphologie des cours et de leurs berges, les réserves halieutiques, la biodiversité... Pour exemple, nous abordons ci-après la question de la prolifération du moto-pompage en rivière et des petits aménagements hydrauliques.

Le moto-pompage, une pratique en plein essor

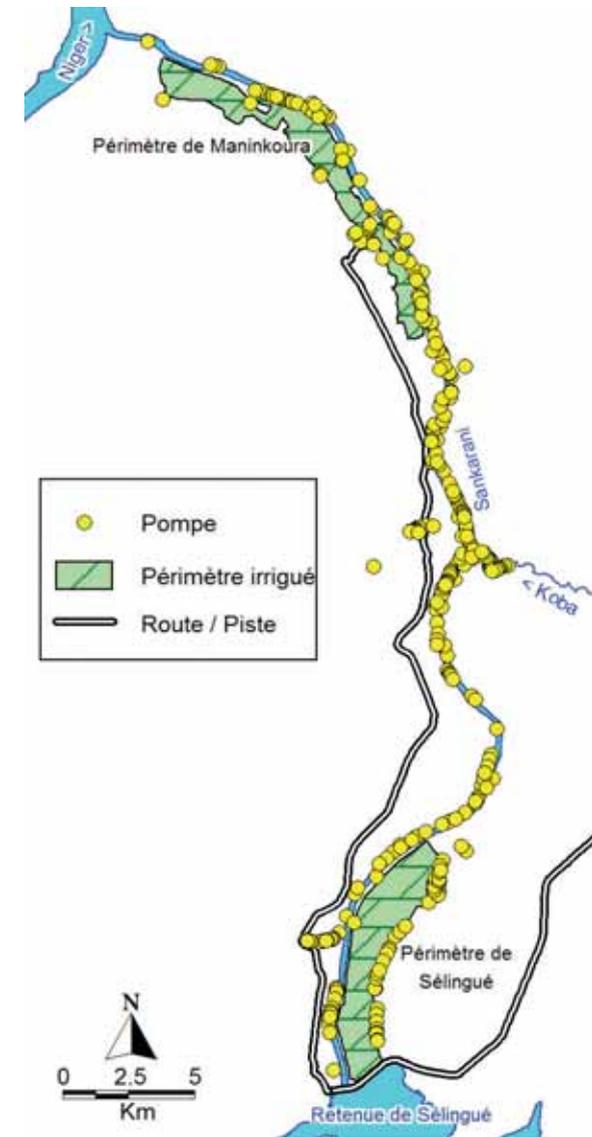
Plusieurs milliers de moto-pompes seraient à ce jour utilisées au Mali pendant la période sèche. Ainsi, par exemple, plus de 300 moto-pompes ont été inventoriées en 2010 dans la vallée du Sankarani entre le barrage de Sélingué et la confluence Niger-Sankarani (environ 50 km). Elles permettent l'irrigation toute l'année de plusieurs centaines d'hectares de petites parcelles familiales sur lesquelles les plantations de bananes sont les plus fréquentes. On assiste actuellement à une diversification des cultures (maraîchage, mangues, papayes, agrumes) et à une augmentation rapide des surfaces irriguées par moto-pompage (augmentation de 20% des surfaces irriguées le long du marigot de Koba, affluent du Sankarani, entre 2007 et 2010).

Cette irrigation s'est développée spontanément sur les bourrelets de berge de la basse vallée du Sankarani à partir de 1982, suite à la mise en service de l'usine hydroélectrique de Sélingué et à la stabilisation des niveaux d'eau qui en est résultée. Le débit correspondant au fonctionnement simultané des moto-pompes, dans des conditions optimales d'installation, serait d'environ 6 m³/s. Mais, sachant que chaque pompe ne fonctionne en moyenne que huit heures par semaine, on peut considérer que les débits prélevés dans le Sankarani sont actuellement insignifiants (quelques centaines de litres par seconde en moyenne) par rapport aux débits délivrés par l'usine de Sélingué (entre 100 m³/s et 200 m³/s entre janvier et juin).

Ce mode d'irrigation individuelle semble intéressant pour l'intensification et la diversification de la production agricole ainsi que pour l'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus en milieu rural. Son essor prévisible aura très rapidement un impact sur les débits d'étiage et devra être pris en compte dans la gestion intégrée des ressources en eau. De manière plus générale, une recherche multidisciplinaire sur les conditions de mise en valeur agricole des plaines alluviales (dont les berges) demanderait à être entreprise.



Moto-pompes dans la région de Kouakourou



Moto-pompage dans la vallée du Sankarani en aval du barrage de Sélingué

Les petits aménagements hydrauliques, un facteur probable de la modification des écoulements sur le bassin versant du Bani

L'analyse des simples et des doubles cumuls des débits annuels observés sur les stations de Koulikoro, de Douna, de Pankourou et de Dioila (①②③) permet une comparaison des écoulements sur les bassins versants du Bani et du Niger supérieur guinéen et malien depuis 1956.

Sur les deux bassins versants les tendances sont similaires (①②). Mais les écarts des moyennes sur différentes périodes par rapport aux moyennes de la période 1956-1993 peuvent être très différents (1994-2010, tableau ci-dessous).

Les doubles cumuls montrent que les écoulements du Niger supérieur guinéen et malien et du Bani ne sont pas homogènes à partir de 1970 (②). En revanche, ils le sont sur le Bani (③)², (doubles cumuls linéaires).

Station	Moyenne (m³/s)		Ecart (%)
	1957-1993	1994-2010	
Koulikoro	1 234	1 164	-6
Douna (lacunes d'observation)	(357)	(251)	(-30)
Pankourou	161	132	-18
Dioila	124	101	-19

Le fonctionnement hydrologique des bassins versants du Bani et celui du Niger supérieur malien et guinéen sont donc différents depuis 1970. La forte diminution des débits sur le Bani fait l'objet de nombreuses hypothèses controversées : modification du climat, du couvert végétal ou des écoulements souterrains, impact des aménagements... L'anthropisation du bassin versant et la prolifération des petits aménagements hydrauliques

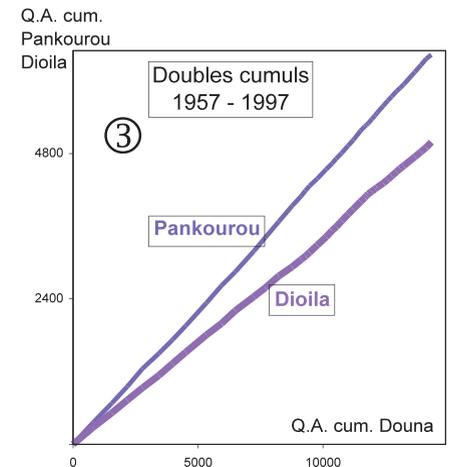
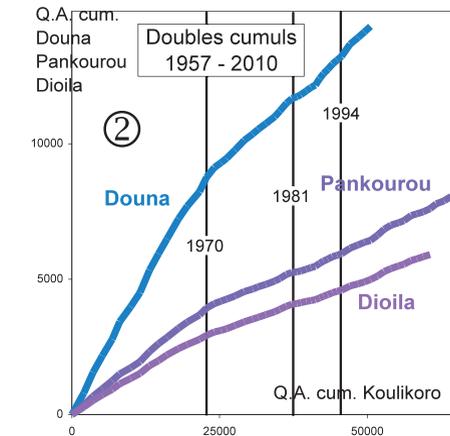
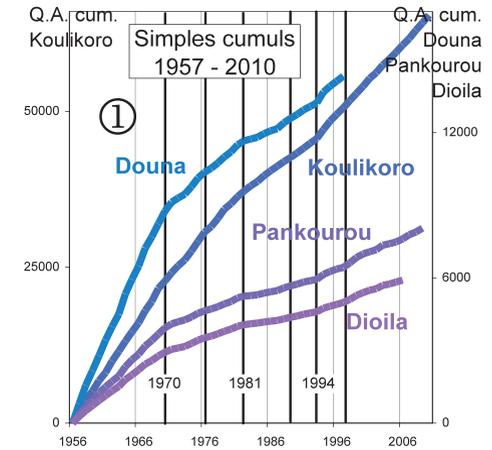
pourraient être les facteurs prépondérants de cette modification ; anthropisation et équipements que l'on ne retrouve pas de manière aussi marquée sur le bassin versant du Niger supérieur guinéen et malien.

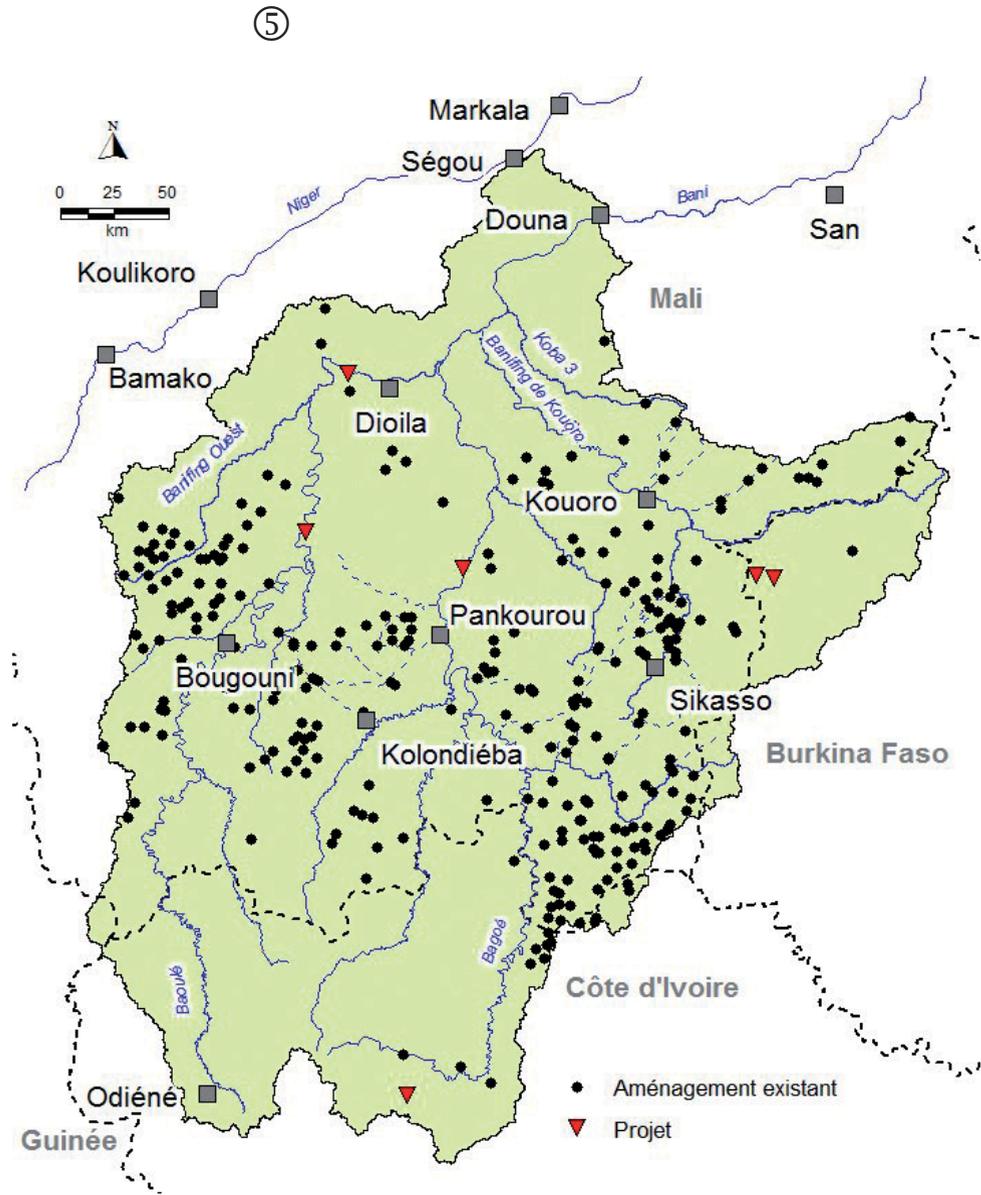
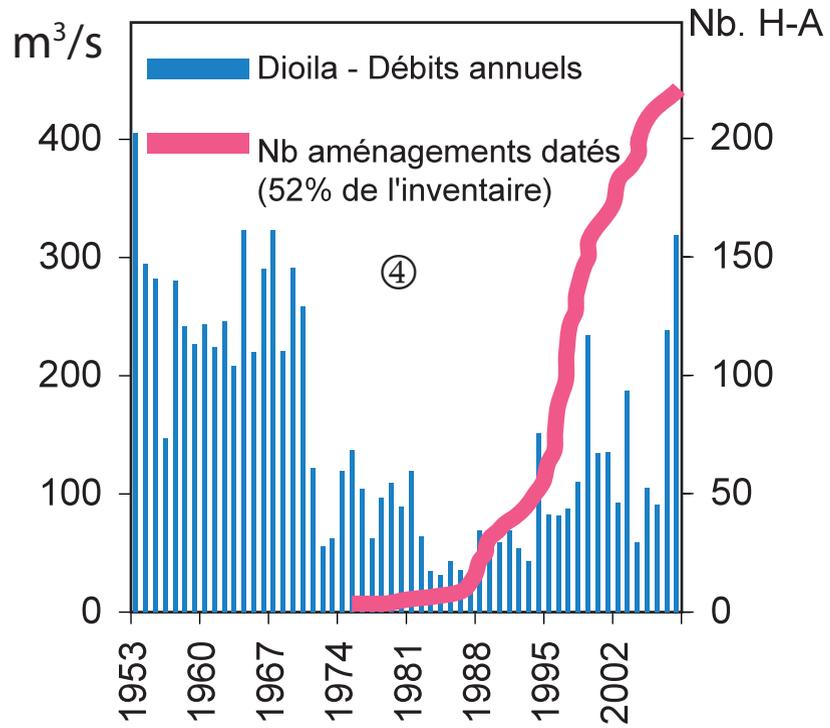
On estime que plus de 500 petits aménagements hydrauliques de toutes tailles ont été construits sur le bassin versant du Bani (peu d'information sur la partie ivoirienne) depuis le début des années 1980, soit environ 6 pour 1 000 km² (④⑤) : barrages en rivière et collinaires (élevage, pêche), seuils pour l'alimentation en eau potable, prises d'eau pour l'agriculture... Soulignons que le début de la prolifération des petits aménagements hydrauliques est synchrone de la période de grande sécheresse (1982-1993). Leur nombre n'a cessé de croître depuis cette époque ("chaque village veut maintenant son barrage").

Les petits aménagements hydrauliques ont très certainement une incidence sur le régime des écoulements à l'aval et le bilan hydrologique des bassins ; incidence qu'il est actuellement impossible de quantifier faute d'informations (taille des réservoirs, fonctionnement, usages de l'eau...).



²Petit barrage de Bougoula sur le bassin versant du Bani





Un avenir incertain

Il n'y a pas "un fleuve Niger" mais trois portions bien distinctes : le Niger supérieur qui comprend le Niger guinéen et malien en amont de Ségou et le Bani en amont de Douna, le delta intérieur et enfin la boucle du Niger en aval de Koryoumé. Chacune de ces portions a un fonctionnement particulier en relation avec le régime des précipitations, la morphologie des bassins versants et l'état d'occupation des sols. Mais rappelons que l'inondation du delta intérieur et les écoulements dans la boucle du Niger sont principalement tributaires des apports du Niger supérieur.

Les régimes hydrologiques du Niger depuis la dorsale guinéenne jusqu'au désert saharien sont caractérisés par une très forte irrégularité interannuelle des débits. A cette irrégularité naturelle viennent s'ajouter des incertitudes quant aux conséquences du changement climatique global sur les précipitations et les écoulements. Ainsi, sur l'Afrique de l'Ouest, moins de 66% des modèles climatiques concordent sur le sens de la variation relative du régime des précipitations pour la période 2090-2099, par rapport à la période 1980-1999 (GIEC, 2007). Une étude menée spécifiquement sur les régions sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest montre, a priori, une réponse différenciée de la pluviosité sur le Sahel (2031-2070 par rapport à 1960-1999) en opposant une augmentation des précipitations à l'est et au centre alors qu'à l'ouest une diminution significative apparaît (Fontaine et al., 2011). Mais, du fait de la méconnaissance des tendances futures du climat, les projections sur les ressources en eau restent empreintes d'une forte incertitude sur le bassin versant du Niger.

Un retour à des épisodes extrêmes tels que ceux observés pour les étiages entre 1982 et 1993 ou pour les crues de 1922 à 1936 et de 1948 à 1969 est tout à fait possible. Les conséquences pour les personnes, les infrastructures et les biens seraient d'autant plus dramatiques que la population actuelle est beaucoup plus importante et qu'elle s'est "rapprochée" des cours d'eau.

L'accroissement du nombre des petits aménagements hydrauliques (AEP, élevage, pêche...), le développement de l'irrigation individuelle, la mise en culture de nouvelles terres sur les versants ou le renforcement des infrastructures routières auront probablement un impact tout aussi important sur les régimes hydrologiques que les grands aménagements hydrauliques (Sélingué, projets de barrage de Fomi et de Taoussa, extension des périmètres irrigués...). Les déficits d'écoulement anormalement forts observés sur le bassin versant du Bani ne sont qu'un signe avant-coureur de l'anthropisation des bassins versants et de la prolifération des aménagements hydrauliques. La modification des régimes hydrologiques d'origine anthropique pourrait à terme avoir un impact beaucoup plus important que les éventuels effets du changement climatique global.

Enfin, il apparaît que les connaissances de base sont très insuffisantes dans tous les domaines pour l'exploitation du fleuve, l'évaluation des ressources en eau et leur gestion, l'aménagement des territoires (grands barrages, nouveaux périmètres...) ainsi que pour l'évaluation des risques environnementaux. Il est urgent que des observatoires environnementaux, en déclin ou inexistant, soient renforcés ou créés sur la base de systèmes simples et robustes à mettre en oeuvre sur le terrain.



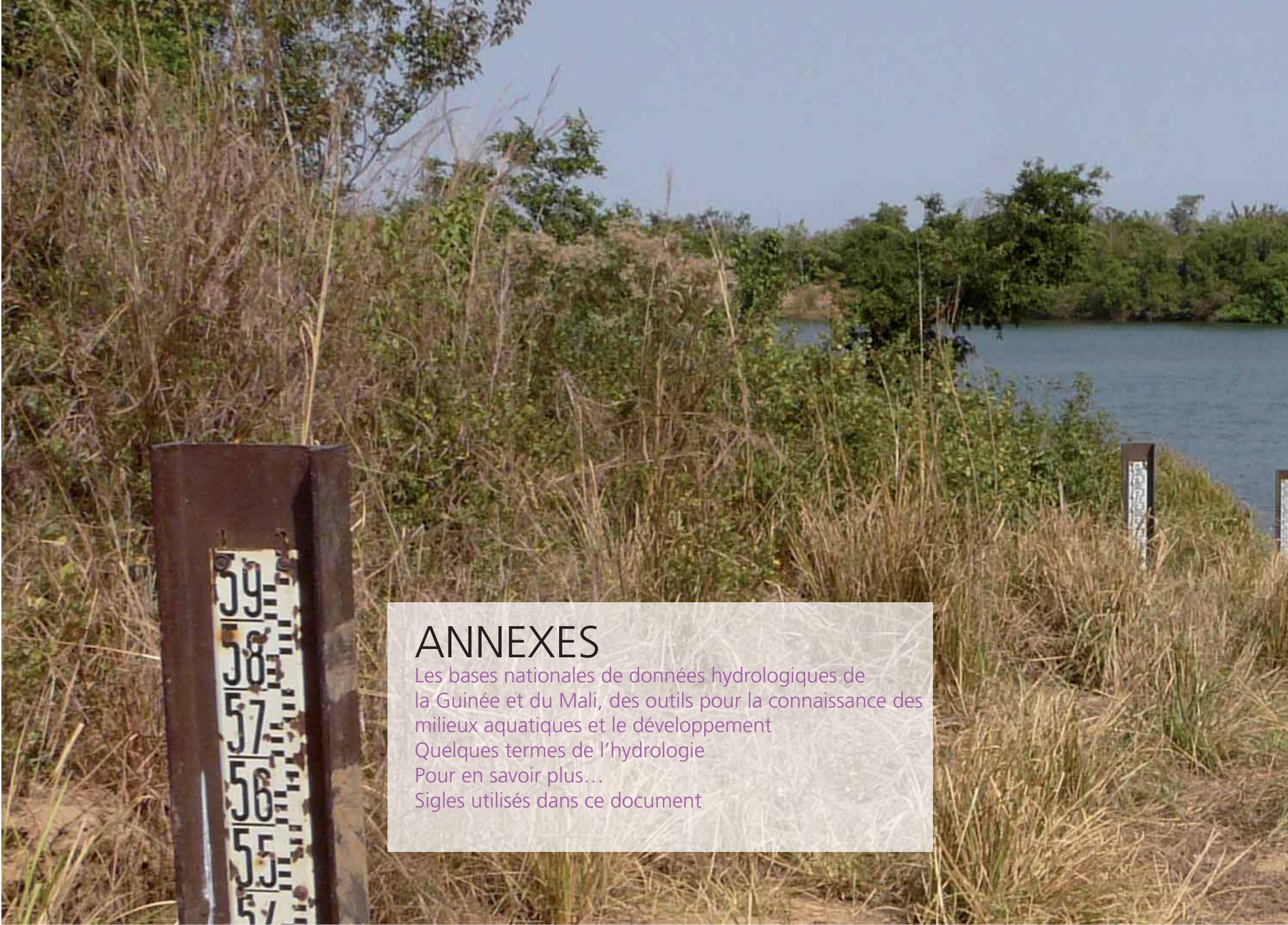
Le Niger à Diafarabé



Le Niger à Bancoumana



Le site de barrage de Fomi sur le Niandan



ANNEXES

Les bases nationales de données hydrologiques de la Guinée et du Mali, des outils pour la connaissance des milieux aquatiques et le développement

Quelques termes de l'hydrologie

Pour en savoir plus...

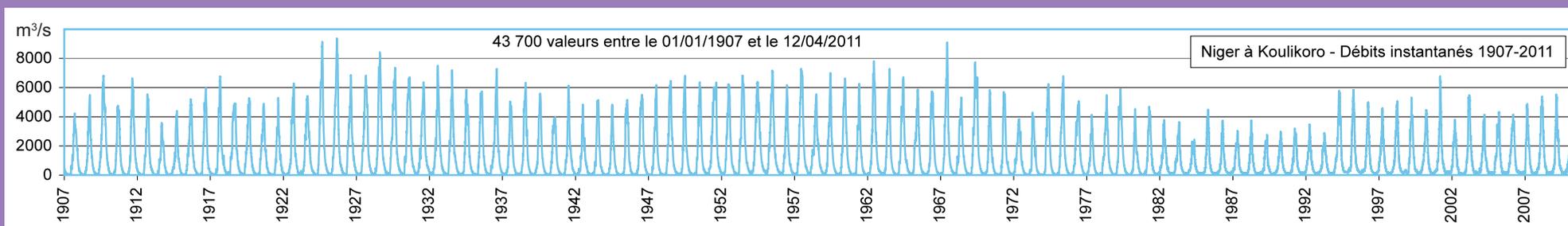
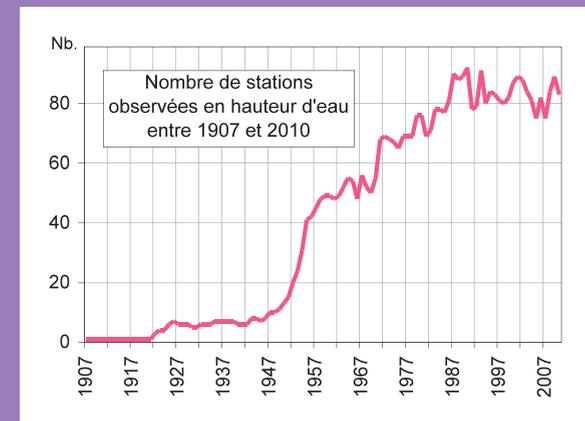
Sigles utilisés dans ce document



La station hydrométrique du Sankarani en aval du barrage de Sélingué

Les bases nationales de données hydrologiques de la Guinée et du Mali,

des outils pour la connaissance des milieux aquatiques et le développement



Les résultats présentés dans ce document témoignent de l'importance des données hydrologiques pour la connaissance des milieux aquatiques, l'aménagement des territoires, le développement de l'agriculture et la gestion des ressources en eau. Les nombreuses références aux observations faites à la station hydrométrique de Koulikoro, une des plus anciennes de l'Afrique de l'Ouest, montrent que l'analyse hydrologique doit pouvoir s'appuyer sur des données anciennes et de bonne qualité.

Les directions nationales de l'hydraulique de la Guinée et du Mali sont chargées du suivi d'un réseau d'observation sur les eaux de surface et de la mise à jour des bases nationales de données hydrologiques. Sur ces deux aspects, l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD ex ORSTOM) leur a apporté un appui scientifique et technique depuis près de 40 ans.

Les bases de données hydrologiques contiennent un ensemble d'informations de divers types issues d'observations de terrain réalisées sur les milieux

aquatiques: rivières, lacs, marécages... Ces informations, issues des réseaux nationaux d'observation hydrologique, d'études ponctuelles ou de travaux de recherche, sont organisées de façon à permettre leur traitement ainsi que la production et le transfert d'informations élaborées. Les informations de base sont les suivantes : des jaugeages, mesures de débits effectuées au moyen de moulinets hydrométriques ou de profileurs de courant (type ADCP), des mesures journalières ou bi-journalières de hauteurs d'eau réalisées par des observateurs, des mesures de hauteurs d'eau enregistrées à divers pas de temps par des appareils automatiques.

L'analyse et le traitement de ces données permettent d'obtenir des informations plus élaborées : débits instantanés, hauteurs d'eau et débits moyens journaliers, mensuels et annuels...

Les premières observations hydrologiques ont débuté au début du siècle dernier. Jusque dans les années 1940, moins d'une dizaine de stations hydrométriques ont été

observées. Leur nombre n'a cessé de croître jusqu'en 1985. Depuis près de 30 ans, entre 80 et 100 stations sont suivies de manière inégale en fonction des besoins.

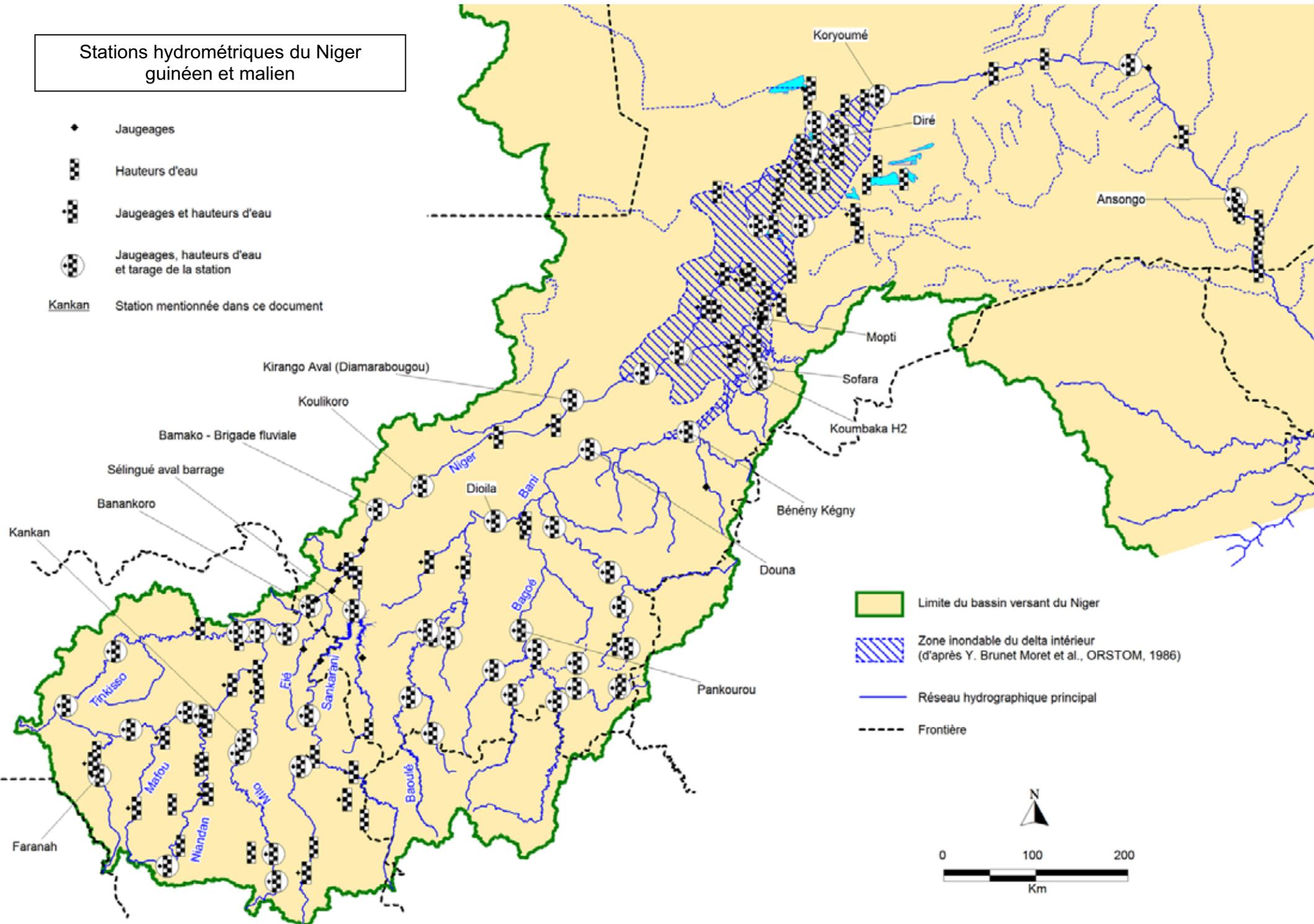
Dans un contexte de changement climatique et d'exploitation croissante des ressources en eau, les bases de données hydrologiques sont des références au niveau national et régional. Elles doivent être considérées comme un patrimoine qu'il faut conserver et enrichir.

Inventaire des données de base (BV du Niger guinéen et malien, 1907-2010)	
Nombre de stations avec observations	165
Nombre de jaugeages	4 778
Nombre de courbes de tarage	100
Hauteurs d'eau	
Première observation	1907
Nombre d'années-stations	4 260
Nombre de valeurs (couple date/hauteur d'eau)	2 515 188

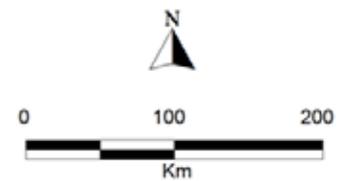
Stations hydrométriques du Niger guinéen et malien

- ◆ Jaugeages
- ▣ Hauteurs d'eau
- ◣ Jaugeages et hauteurs d'eau
- ⊗ Jaugeages, hauteurs d'eau et tarage de la station

Kankan Station mentionnée dans ce document



- ▭ Limite du bassin versant du Niger
- ▨ Zone inondable du delta intérieur (d'après Y. Brunet Moret et al., ORSTOM, 1986)
- Réseau hydrographique principal
- - - Frontière



Quelques termes de l'hydrologie

L'hydrologie est la science qui traite des eaux de surface et de leurs propriétés. Le régime hydrologique d'une rivière est une description des caractéristiques de son écoulement.

Bassin versant (BV)

On appelle bassin versant, ou bassin de drainage, d'une rivière considérée en un point donné de son cours, l'aire limitée par le contour à l'intérieur duquel l'eau précipitée se dirige vers ce point de la rivière. Si le sol est imperméable, il est bien évident que les limites du bassin sont définies topographiquement par la ligne de crête le séparant d'un bassin voisin (bassin topographique). Pour les sols perméables, le bassin versant réel peut différer du bassin topographique mais, sauf dans le cas d'une circulation interne particulièrement intense (terrain karstique, basaltes, couches sableuses très puissantes), cet effet est surtout sensible pour de très petits bassins. En pratique, on admet la plupart du temps que le bassin versant coïncide avec le bassin topographique. (Extrait de «Hydrologie de Surface», M. Roche, ORSTOM, 1963)

Une confluence est le lieu de rencontre de deux cours d'eau. Par opposition, une diffluence est le lieu de séparation d'un cours d'eau en un ou plusieurs bras. Vis-à-vis d'un point donné d'une rivière, l'amont se situe vers sa source par opposition à l'aval.

Une isohyète est une ligne reliant des points (stations d'observation) dont la pluie journalière, mensuelle ou annuelle est de même valeur

Une échelle limnimétrique permet de mesurer le niveau d'eau d'une rivière (HE, hauteur d'eau).

Le jaugeage d'une rivière consiste à mesurer son débit à un instant donné. Cette mesure est réalisée au moyen

de divers types de matériel et de technique en fonction de la morphologie du bief et de la vitesse du courant.

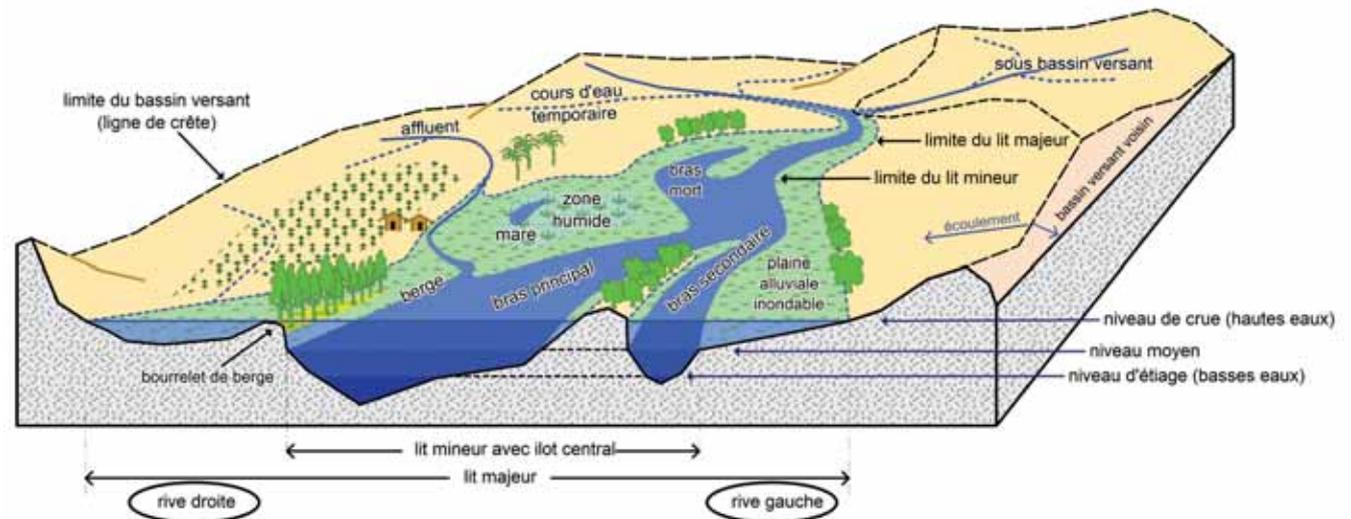
Le débit d'une rivière est un volume d'eau écoulé dans une unité de temps. Il est exprimé en m^3/s ou en l/s . Le débit instantané (QI) est le débit d'une rivière à une date et à une heure précise. Les débits moyens journaliers (QJ), mensuels (QM) et annuels (QA ou module) sont le plus souvent exprimés en m^3/s (volume d'eau écoulé en un jour, un mois ou une année, divisé par le nombre de secondes de la période correspondante).

L'hydraulicité (faible, moyenne ou forte) permet de caractériser l'abondance de l'écoulement d'une année par rapport à la moyenne.

Le coefficient de variation (CV) permet la comparaison de séries de valeurs. Il est égal au rapport de l'écart-type à la moyenne.



Echelle limnimétrique (HE = 4,45 m)



- ABN, BRLi, 2007, Evaluation des prélèvements et des besoins en eau pour le modèle de simulation du bassin du Niger – Rapport définitif (15 janvier 2007), 143 p.
- Andersen I., Dione O., Jarosewich-Holder M., Olivry J.-C., 2005, The Niger River Basin : A Vision for Sustainable Management, The World Bank, 166 p.
- Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.P., Molinier M., 1986, Monographie hydrologique du fleuve Niger - Tome I : Niger supérieur - Tome II : Cuvette lacustre et Niger moyen - Annexe : Débits moyens journaliers, IRD, Monographie hydrologique de l'IRD (ORSTOM), n° 8, Tome I : 410 p., Tome II : 521 p., Annexe : 1674 p.
- Diallo E.H.M.A., Diallo T., 2004, Etude multisectorielle nationale (Guinée) : Evaluation des opportunités et contraintes au développement dans la portion nationale du bassin du Niger (Rapport final), DNH-Guinée, ABN, 232 p.
- Diarra A.T., Cissé Y., 2004, Etude multisectorielle nationale (Mali) - Rapport principal et volume d'annexes, DNH-Mali, ABN, 168 p. et 75 p.
- Fontaine, B., Roucou, P., Monnerie, PA (2011) Changes in the African monsoon region at medium-term time horizon using 12 AR4 coupled models under the A1b emissions scenario. Atmos. Sci. Let. 12: 83–88.
- GIEC, 2007, Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Changements climatiques 2007 - Les éléments scientifiques. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Lerebours Pigeonnière A., Arnaud J.-C., Bazin S., Cabrillac-Bazin D., Diallo S., Dumont F., Huysecom E., Leclerc E., Nouaceur Z., Togola-Cissouma D., 2001, Les Atlas de l'Afrique : Mali, Les éditions J.A., 81 p.
- L'Hôte Y., Mahé G., 1995, Précipitations moyennes annuelles de l'Afrique de l'ouest et centrale (période 1951-1989), Carte de l'IRD et Coll. Cartes et notices de l'IRD, format 60cm x 90cm
- Marie J., Morand P., N'Djim H., 2007, Avenir du fleuve Niger - 1ère partie : Synthèse et recommandations - 2ème partie : Chapitres analytiques, IRD, Collection Expertise collégiale de l'IRD, 287 p. et 454 p.
- Olivry J.-C., 2002, Synthèse des connaissances hydrologiques et potentiel en ressources en eau du fleuve Niger, Banque Mondiale, ABN, 158 p.
- Roche M., 1963, Hydrologie de surface, ORSTOM, 430 p.
- Zwarts L., Van Beukering P., Koné B., Wymenga E., 2005, Le Niger, une artère vitale - Gestion efficace de l'eau dans le bassin du haut Niger, RIZA, Wetlands International, IVM, Altenburg & Wymenga, 305 p.

ABN	Autorité du Bassin du Niger
AEP	Alimentation en Eau Potable
ANR	Agence Nationale de la Recherche (France)
AFD	Agence Française de Développement
CRC	Unité Mixte de Recherche « Centre de Recherches de Climatologie » (France)
ESO	Unité Mixte de Recherche « Espaces et SOciétés » (France)
Facilité ACP-UE pour l'Eau	L'Accord de partenariat ACP-UE est un accord global en matière d'aide et de commerce conclu entre 77 pays ACP (Afrique, Caraïbes et Pacifique) et l'Union européenne (la Communauté et les 15 Etats membres de l'UE). Signé en juin 2000 à Cotonou (Bénin), il est généralement désigné par le nom Accord de Cotonou.
G-eau	Unité Mixte de Recherche « Gestion de l'eau, acteurs, usages » (France)
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
HSM	Unité Mixte de Recherche « HydroSciences Montpellier » (France)
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (France)
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Etats-Unis)
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency (Etats-Unis)
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TETIS	Unité Mixte de Recherche « Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale » (France)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation



Les travaux présentés dans cet ouvrage ont été réalisés dans le cadre du projet « Niger-Loire : Gouvernance et culture », mis en œuvre entre 2007 et 2011. L'objectif du projet était de renforcer la gouvernance du fleuve, à travers une meilleure connaissance des patrimoines, des usages et du fonctionnement du fleuve, la transmission de ces connaissances auprès des décideurs et du grand public, la mise en place de programmes de formation et l'expérimentation d'opérations concrètes sur des sites riverains du fleuve : restauration du port de pêche de Mopti, construction d'une teinturerie artisanale à Bamako, aménagement d'une décharge de transit à Djenné... Le projet se proposait d'intervenir en priorité à l'échelle locale, auprès des collectivités locales et des communautés riveraines du fleuve.

La recherche occupait une place essentielle au sein du projet. A l'heure où de fortes incertitudes pèsent sur l'avenir du fleuve, il est essentiel de mieux le connaître dans toutes ses dimensions, hydrologique, environnementale et humaine. Une importance particulière a ainsi été accordée à la collecte des données sur le terrain, étape parfois négligée et pourtant essentielle pour préparer la prise de décisions. Outre les travaux sur le fonctionnement hydrologique du fleuve coordonnés par l'IRD, des investigations ont été engagées dans d'autres champs de la connaissance : un inventaire sur un inventaire sur les patrimoines fluviaux a été réalisé par la direction du patrimoine culturel. Des enquêtes anthropologiques sur les pratiques culturelles des populations riveraines ont été menées par l'université de Bamako (FLASH).

Le projet a permis plus largement de vulgariser et diffuser la connaissance du fleuve auprès d'un large public. Les partenaires de recherche, parmi lesquels l'IRD, ont été invités à partager leurs travaux auprès des professionnels et des étudiants en intervenant régulièrement dans des cours de formation à l'université de Bamako, où deux modules de spécialisation sur l'environnement et les cultures du fleuve ont été créés. L'organisation d'ateliers techniques ou scientifiques plus ciblés a facilité la restitution des résultats auprès des décideurs à l'échelle nationale ou locale. L'animation de réunions publiques, la participation à des débats télévisés, la contribution à une exposition collective « Niger, un fleuve et des hommes » au musée national du Mali a permis enfin de toucher un large public. Le présent document s'inscrit lui-même dans cette démarche de diffusion du savoir scientifique.

Le projet « Niger-Loire : Gouvernance et Culture » a mobilisé un large partenariat. Coordonné par l'UNESCO (Centre du patrimoine mondial et bureau de Bamako), dans le cadre de la Convention France-UNESCO, le projet a été mis en œuvre avec l'appui de nombreux partenaires maliens et français : collectivités locales (Mopti, Ségou, Djenné, Bamako, AMM au Mali ; Angers, région Centre en France), services nationaux (Direction nationale de l'Hydraulique, Direction nationale du patrimoine culturel, Agence de Bassin du Fleuve Niger), universités et établissements de recherche (université de Bamako, université de Tours, université catholique de l'Ouest, IRD), Mission Val de Loire, Agence de l'Eau Loire Bretagne. L'Autorité du Bassin du Niger, en tant que partenaire, a facilité la diffusion des résultats dans les autres pays du bassin et attribué au projet une mention d'excellence lors de sa 30ème session du Conseil des ministres des pays membres (N'djamena, Tchad, septembre-octobre 2011). Cette variété d'intervenants constituait l'originalité de cette expérience, rendue possible grâce au financement de l'Union Européenne dans le cadre du programme Facilité ACP-UE pour l'Eau.



D'après le dernier rapport du GIEC (2007), « le continent africain serait particulièrement touché par les incidences de l'évolution du climat ». Il est nécessaire d'y porter une attention particulière car il ne possède que peu de moyens pour faire face aux changements climatiques et, plus généralement, aux changements globaux.

Le projet « Vulnérabilité des Ressources en Eau Superficielle au Sahel aux évolutions Anthropiques et Climatiques à moyen terme (RESSAC) » soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (2007-2011) était un projet de recherche fondamentale et appliquée. Plusieurs unités mixtes de recherche françaises y ont participé : HSM, G-EAU, CRC, TETIS et ESO.

Le bassin versant du Bani, principal affluent du fleuve Niger dans son cours supérieur, a été choisi pour cette recherche. C'est une région importante pour le Mali qui base son économie principalement sur le développement d'une agriculture pluviale, même si des hydro-aménagements en projet pourraient augmenter la part de l'agriculture irriguée.

L'économie du Mali dépend donc des ressources en eau disponibles sur ce bassin qui, ces dernières décennies, ont fortement évolué et qui, à l'avenir, restent très incertaines. L'enjeu de ce projet était de parvenir à améliorer notre aptitude à estimer dans le futur les ressources en eau disponibles en prenant en compte la dynamique du bassin du Bani, dynamique résultant soit de processus naturels, soit de changements anthropiques.

Des outils existants (modèles socio-économiques et climatiques globaux ou régionaux) couplés à des modèles hydrologiques permettant d'évaluer les ressources en eau à l'avenir du bassin sous forçages climatique, environnemental et démographique ont été testés. Du fait de la méconnaissance des tendances futures du climat, les projections restent cependant empreintes d'une forte incertitude dans cette région.

