

5 LE PROJET

nigériennes Le barrage doit comprendre les ouvrages de restitution nécessaires, permettant de lâcher les débits nécessaires de la retenue à l'aval pour le soutien de l'étiage, de l'irrigation, de l'alimentation en eau de la population, du bétail et de l'industrie, et pour les autres utilisations, même si la centrale hydroélectrique n'était pas en fonctionnement.

Il doit pouvoir évacuer les crues maximales du projet estimée à 3.150 m³/s sans risque que le niveau de la retenue ne dépasse la cote maximale définie (PHE 228).

Pour le franchissement du barrage par les pirogues, un monte-charge oblique est prévu, la solution de l'écluse étant abandonnée car assez onéreuse et conduisant à d'énormes pertes d'eau.

Pour que le barrage de Kandadji puisse atteindre les objectifs envisagés, l'ensemble du projet doit comprendre les composantes suivantes :

Ouvrages principaux du barrage:

- digue principale (barrage en terre)
- évacuateur de crue
- centrale hydroélectrique
- vidange de fond

Ouvrages auxiliaires :

- passe à poissons
- prise d'eau d'irrigation
- monte-charge oblique pour pirogues.

5.1 Le barrage en terre

La coupe type choisie pour le profil du barrage en terre est donnée en annexe (plan N°).
Recharges: Les matériaux de qualité supérieure eu égard à leur perméabilité, c'est-à-dire le banco et les arènes argileuses, seront utilisés comme recharge amont du barrage. Les arènes sableuses peuvent être utilisées pour la recharge aval.

Drains: Afin de maintenir la ligne de saturation dans le corps du barrage à un niveau bas et de pouvoir évacuer l'eau d'infiltration éventuelle, il est nécessaire d'installer des drains verticaux et horizontaux. La recharge aval repose sur un tapis drainant horizontal. Les deux massifs d'appui en amont et en aval sont séparés par un drain cheminé vertical.

Filtres: Entre les drains et les recharges, des filtres sont interposés pour empêcher l'entraînement des fines dans les drains.

Rip-rap: Les surfaces des deux recharges du barrage sont protégées par rip-rap composé de gros blocs contre les phénomènes d'érosion provoqués par le vent, la pluie et – dans le cas de la recharge amont – le choc des vagues.

Talus: Compte tenu des paramètres de mécanique des sols des matériaux, le talus amont est de v:h = 1:3,0 et le talus aval de v:h = 1:2,5.

Fondation: On supposera un niveau de 2,00 m - en moyenne - sous le terrain existant

comme profondeur normale de fondation. De cette façon, on devrait pouvoir atteindre des couches de fond stables d'une étanchéité suffisante.

Tranchée de parafouille: Pour augmenter l'imperméabilité, une tranchée de parafouille, dont la profondeur de fondation se situe à 2,00 m en-dessous de la profondeur de fondation normale, sera aménagée dans la zone du noyau du barrage. La largeur de cette tranchée est fonction de la hauteur du barrage.

Route de crête: Sur toute la longueur en crête du barrage passe une route de service qui sera asphaltée.

Fossé de drainage: Le long du pied aval du barrage se trouve un fossé, qui recueille les eaux de pluie de surface et l'eau d'infiltration en provenance des drains, et qui les évacue à partir de points topographiques bas, vers l'eau en aval.

Des calculs de stabilité ont été effectués pour le profil choisi en utilisant la méthode de calcul de rupture circulaire des talus selon la méthode de "Bishop". Les résultats conduisent à considérer que la stabilité du barrage en terre est satisfaisante pour tous les cas de charge.

5.2.5 L'évacuateur de crue

La retenue du barrage de Kandadji étant complètement pleine pendant 7 à 8 mois par an, l'évacuateur sera toujours en activité quand le débit entrant dans la retenue ne pourra pas être utilisé par la centrale hydroélectrique instantanément et dans sa totalité pour la génération d'énergie. Cette utilisation fréquente et longue de l'évacuateur exige un soin tout particulier lors de la conception afin de garantir un fonctionnement de l'ouvrage, irréprochable du point de vue hydraulique et sûr du point de vue technique.

Type de l'évacuateur: Malgré des actualisations et analyses des études climatologiques et hydrologiques, l'évolution future du climat dans le bassin versant du Niger ne peut pas être estimée de façon fiable. On ne peut exclure que, pendant la période d'exploitation du barrage de Kandadji, se produisent des changements climatiques qui entraîneraient un accroissement des débits de crues du Niger dans des proportions telles qu'il n'a pu être suffisamment pris en compte par les analyses historiques. La conception de l'évacuateur doit prendre en considération cette éventualité peu vraisemblable de façon à ce qu'une surcharge avec des débits supérieurs aux débits de dimensionnement soit possible, sans que la sécurité du barrage soit remise en cause.

Ces réflexions conduisent au choix d'un déversoir comme type d'évacuateur et excluent des évacuateurs constitués de pertuis de fond, tel que proposé dans l'étude précédente. Dimensions: Seul un déversoir relativement long ayant un bassin de dissipation d'une largeur correspondante permet de réduire le débit par unité de largeur dans des proportions telles qu'une excavation trop profonde du radier du bassin de dissipation soit exclue et que le débit du bassin puisse être conduit vers le lit naturel du fleuve sans difficulté et sans zone de transition plus longue. Des calculs hydrauliques il résulte que huit passes d'une largeur de 17,50 m chacune sont nécessaires pour permettre l'évacuation de la crue de projet de 3.150 m³/s.

Vannes: Il est indiscutable que les déversoirs à nappe libre présentent de grands avantages en raison de leur faible coût, de la simplicité de la régulation du niveau de la retenue sans intervention humaine, et de la garantie de leur fonctionnement sans risque de défaillance. Cependant leur inconvénient réside dans le fait qu'ils induisent une

capacité non exploitable entre retenue normale et niveau maximal, qui réduit le volume utile pour un niveau maximal donné de la retenue. Les résultats de la simulation de la gestion de la retenue ont montré que l'ensemble de la capacité disponible jusqu'à la cote 228 m doit être utilisé pour garantir un débit minimum d'environ 120 m³/s pour le soutien d'étiage. Pour éviter l'inondation des terres dans les pays voisins, des niveaux supérieurs à cette cote sont exclus. C'est pourquoi le déversoir doit être équipé de vannes. La grande longueur relativement à la hauteur, offre des conditions idéales pour l'installation de vannes clapets. Elles présentent le grand avantage qu'en cas d'urgence, leur ouverture est possible sans apport d'énergie. Du fait de leur écoulement par dessus, elles conviennent très bien à la régulation du plan d'eau dans la retenue et ne sont pas vulnérables aux risques de transport de corps flottants.

Bassin de dissipation: L'utilisation fréquente et longue de l'évacuateur de crues soumet son efficacité hydraulique et la sécurité de son fonctionnement à des exigences particulières. Seul peut être envisagé à l'aval du déversoir un coursier avec bassin de dissipation de type conventionnel, où on localise le ressaut faisant passer le régime du type torrentiel, obtenu au bas du coursier, au type fluvial qui correspond aux conditions d'écoulement dans le lit de restitution du fleuve.

5.2.6 La vidange de fond

La vidange de fond constitue un élément indispensable du barrage de Kandadji. Elle met à disposition une capacité qui permet notamment d'assurer l'alimentation du fleuve Niger en aval pendant la saison d'étiage, la montée contrôlée du plan d'eau dans la retenue pendant le remplissage annuel, le contrôle et - si nécessaire – l'abaissement du plan d'eau en cas d'événements particuliers ou de danger, et éventuellement l'évacuation de crues en complément de l'évacuateur de crue. Il convient de remarquer que pendant l'exploitation, les lâchages d'eau du réservoir seront effectués en priorité par la centrale afin de produire de l'énergie électrique.

La vidange de fond ne pouvant être qu'un ouvrage en béton, il s'avère judicieux de la relier à l'évacuateur de crue et à la centrale hydroélectrique et de la situer également dans le bras principal du fleuve. A cause de ses entrées profondes et des grandes vitesses de courants, la vidange de fond doit être éloignée du barrage en terre pour le protéger de l'érosion. Elle ne peut donc être située qu'entre l'évacuateur de crue et la centrale hydroélectrique.

Pour loger le pertuis de la vidange de fond ayant la capacité requise, un plot d'une longueur de 20 m suffit, longueur qui a été également choisie pour les plots de l'évacuateur. Afin d'atteindre des dimensions économiques des organes de fermeture et de réglage, il convient de répartir la section nécessaire entre trois pertuis individuels. Avec une capacité totale de 420 m³/s pour une retenue à 223 m la vidange de fond dépasse la capacité exigée.

5.2.7 Les plots de transition entre barrage en terre et évacuateur

La zone de contact entre un barrage en remblai et un ouvrage en béton doit toujours être considérée comme une zone potentielle de faiblesse, dont la conception nécessite une attention particulière afin d'éviter tout risque de fissuration et une rupture

subséquente due aux renards résultant des différences de tassements locaux. Une solution permettant de renoncer à des murs de soutien a été trouvée par l'aménagement de deux plots de transition d'un profil poids de 40 m de longueur prolongeant l'évacuateur dans la digue en terre. De ce fait, le profil standard du barrage en terre se termine 40 m avant le début de l'évacuateur. A partir de ce point, le barrage en terre prend la forme d'un demi cône, dans lequel les plots de transition pénètrent. Grâce à sa forme en cône, le barrage en terre possède une stabilité propre suffisante, même dans sa partie terminale, ce qui rend inutiles d'autres ouvrages auxiliaires.

5.2.8 La passe à poissons et le pilier intermédiaire

Un barrage artificiel présente un obstacle pour la population piscicole et peut constituer une entrave aux migrations naturelles saisonnières des poissons. Pour éviter un effet indésirable de cette sorte, il faut, suivant les standards internationaux reconnus, intégrer une "passe à poissons" dans le barrage. Dans le cas de Kandadji, cette passe à poissons sera intégrée dans le pilier intermédiaire séparant la centrale hydroélectrique de la vidange de fond. Il existe en principe trois sortes de passes à poisson, qui se différencient par leur mode de fonctionnement: ce sont l'échelle à poissons, l'ascenseur à poissons, et l'écluse à poissons. Pour des raisons qui sont expliquées dans ce rapport, une écluse à poissons sera considérée comme la solution la plus adéquate pour le projet de Kandadji.

5.2.9 Prise d'eau d'irrigation

Indépendamment des ouvrages en béton dans le lit mineur, qui restituent l'eau prise de la retenue dans le fleuve en aval, il est nécessaire d'aménager une prise d'eau en rive gauche, dans le secteur de la route nationale RN1, de façon à se raccorder le plus directement possible au canal d'irrigation primaire desservant les périmètres en aval du barrage entre Kandadji et Tillabéri. Cet aménagement alimente le canal par gravitation, sans intervention de stations de pompage.

5.2.10 Monte-charge oblique des pirogues

Les possibilités de transport fluvial des marchandises et des personnes ne peuvent être restreintes par la réalisation du barrage de Kandadji. Après la construction du barrage, le transport fluvial tiendra même un rôle encore plus important, vu que la retenue créée, qui s'étendra jusqu'à la frontière malienne, constituera une bonne voie de communication. Les conditions de navigation seront également améliorées en aval grâce au soutien de l'étiage au cours de la saison sèche.

La conception de l'étude précédente prévoyait à cet effet la construction d'une écluse à pirogues, qui, suite à la hauteur maximale d'éclusage de 18 m, aurait constitué un ouvrage important et par conséquent très coûteux. En fonction du but principal de l'étude actuelle d'atteindre une réduction du coût du projet grâce à la simplification de la conception et à une réduction des dimensions des ouvrages, on a décidé de renoncer à la construction de l'écluse et d'assurer le transport des pirogues entre la retenue et l'eau en aval par un monte-charge oblique. La faible densité du transport fluvial s'adapte bien

à cette variante.

5.1 CONCEPTION DE LA CENTRALE HYDROELECTRIQUE

5.3.1 Données de base pour l'exploitation du potentiel hydroélectrique

La production d'énergie au barrage de Kandadji est subordonnée aux objectifs prioritaires du barrage, à savoir le soutien d'étiage, la pérennité de l'irrigation et l'alimentation en eau potable et industrielle. Il s'en suit que l'optimisation de la gestion du réservoir et la détermination du débit minimum au cours de la période d'étiage auront lieu exclusivement en fonction des aspects écologiques et de l'alimentation en eau. Donc, une optimisation de la gestion du point de vue énergétique n'a pas été réalisée. La série des débits sortants du barrage pour la période caractéristique 1966-1998, résultant de l'optimisation de la gestion de la retenue (voir Chapitre 4), a servi de base pour la simulation de la production d'énergie. Une autre donnée de base fondamentale est la demande en électricité au Niger, qui a été prise en considération (voir Chapitre 3.11).

5.3.2 Optimisation de la centrale hydroélectrique

L'optimisation de la centrale hydroélectrique est un processus technico-économique complexe et est basée sur une comparaison des coûts de la centrale avec les bénéfices pouvant être réalisés. Les coûts totaux de la centrale sont composés des coûts des travaux de génie civil, des équipements hydromécaniques et des équipements électriques, les bénéfices seront calculés en production d'énergie. Une conception optimale est caractérisée par un rapport minimum "Investissements / Bénéfices".

Vu la nécessité essentielle d'un contrôle de fréquence pour stabiliser le réseau dans le système électrique du Niger, une turbine type Kaplan s'est avérée être le seul type de turbine approprié pour la centrale hydroélectrique de Kandadji.

Après avoir défini le type de turbine, l'optimisation de la centrale hydroélectrique a été exécutée en trois étapes, comme suit:

1ère Etape: Optimisation de la puissance totale installée

2ème Etape: Optimisation du nombre de groupes

3ème Etape: Optimisation de la vitesse de rotation spécifique de la turbine.

Dans la première étape de l'optimisation on a obtenu une variation optimale de puissance entre 100 et 140 MW. En raison de la prévision de la demande, qui est déjà estimée à environ 100 MW avec tendance ascendante pour l'année 2015, une puissance totale installée de 125 MW est conseillée. Pour adapter la production d'énergie à la croissance de la demande et pour réduire les coûts d'investissement, la réalisation devrait se faire en deux étapes; tout d'abord la Phase I avec une puissance totale installée de 100 MW, qui couvrira la demande jusqu'à l'année 2015, et une extension de 25 MW supplémentaires pour atteindre un total de 125 MW dans une Phase II suivante.

Dans la deuxième étape, une exploitation optimale de l'apport en eau a été obtenue pour chaque groupe et pour une variante de centrale abritant 5 groupes. Avec cette

variante, on obtient une puissance installée de 25 MW pour un débit nominal de 190 m³/s. Le tableau suivant résume l'aménagement recommandé de la centrale hydroélectrique:

Tableau 5-1: Aménagement recommandé de la centrale hydroélectrique

Dans la troisième étape l'optimisation de la vitesse de rotation spécifique de la turbine a montré qu'une turbine avec une vitesse de rotation spécifique de 103,45 min⁻¹ représente la solution la plus économique.

L'optimisation a donné donc les résultats suivants:

Type de turbine: Kaplan

Puissance totale installée: 125 MW

Nombre de groupes: 5

Vitesse de rotation spécifique: 103,45 min⁻¹

Débit turbinable total: 950 m³/s

Débit turbinable nominal par turbine: 190 m³/s

5.3.3 Conception de la centrale hydroélectrique

La conception de la centrale hydroélectrique a été effectuée sur la base des résultats de l'optimisation. En plus des résultats de l'optimisation, des critères de dimensionnement nécessaires pour garantir une gestion sans perturbation et à long terme ont été établis et pris en considération. Outre l'intégration harmonieuse de la centrale hydroélectrique dans l'ensemble de l'aménagement, ce sont en première ligne les aspects techniques et économiques qui ont été déterminants. Les données suivantes en ont résulté:

Situation de la centrale: rive droite du fleuve dans le bras principal du lit mineur

Nombre de blocs: 6 (5 groupes + 1 travée de montage)

Longueur totale: 114 m

Largeur totale: 50,50 m

Hauteur de crête: 231,00 m

Une coupe transversale de la centrale est donnée dans l'Annexe du rapport. Pour des informations plus détaillées, il est renvoyé aux rapports individuels.

5.3.4 Coûts et bénéfices

Les coûts d'investissement de la centrale hydroélectrique, la puissance totale installée, la production d'énergie annuelle moyenne et les coûts spécifiques ont été déterminés comme suit:

Tableau 5-2: Centrale hydroélectrique, coûts et bénéfices

Pour l'évaluation de la satisfaction de la demande en énergie, il faut considérer l'histogramme annuel. La Figure 5-2 suivante montre un déroulement typique au cours d'une année moyenne, comparé à la demande en énergie pour les années 2010 et 2015.

Figure 5-1: Distribution de la puissance réalisée par Kandadji par rapport à la demande

Il apparaît que la demande peut être complètement couverte au cours des mois d'octobre à février. Pour la période mars – septembre, la demande devra être partiellement couverte par d'autres sources. Pour combler la lacune, il faut, soit importer l'énergie manquante du Nigeria, soit installer des centrales thermiques propres, alimentées au gaz, au diesel ou au charbon.

5.4 AMENAGEMENTS HYDRO-AGRIcoles

5.4.1 Assolements retenus

La vallée du fleuve Niger a été subdivisée en trois zones réparties comme suit:
une zone Nord qui va de la frontière du Mali à Kokomani,
une zone Centre qui s'étend de Kokomani à Kirtachi,
une zone Sud qui va de Kirtachi à la frontière avec le Nigeria.

Le Tableau 5-3 ci-après donne les spéculations proposées dans chacune de ces zones et les taux d'occupation des superficies affectées à chaque culture.

Tableau 5-3: Assolements

Les assolements proposés semblent être les mieux adaptés aux conditions existantes, notamment les pratiques culturales, l'agro-industrie, les facilités de stockage et de transport et les demandes du marché. Toutefois, ces assolements devront être adaptés en permanence pour répondre à l'évolution des besoins alimentaires des populations et des animaux (surtout de trait) mais aussi des besoins du marché.

Tout en respectant les assolements saisonniers, une gamme de succession et de rotation des cultures a été proposée sur les terrasses du fleuve Niger en tenant compte des résultats de différents organismes de recherche et de développement ainsi que des rendements des cultures testées.

5.4.2 Besoins en eau

Les besoins en eau de chaque culture sont fonction des conditions climatiques de la période considérée et aussi de la culture et de son état végétatif au cours de cette

période. Le Tableau 5-4 fait ressortir les besoins mensuels par hectare pour les assolements des cuvettes et des terrasses des zones Nord, Centre et Sud de la vallée du fleuve.

Tableau 5-4: Besoins mensuels en eau par hectare (m³ / ha · mois)

Les besoins annuels passent d'environ 9.739 m³/ha et 11.268 m³/ha pour les terrasses et cuvettes de la zone Sud à 11.070 m³/ha et 16.524 m³/ha pour celles de la zone Centre et à 14.329 m³/ha et 14.184 m³/ha pour celles de la zone Nord.

5.4.3 Programme de développement proposé

Le programme de développement proposé concerne un total de 31.000 ha de terrains nouveaux d'ici l'an 2034 comme suit:

Une superficie de 16 275 ha sera aménagée en terrasses,

Une surface totale de 14 725 ha sera mise en valeur dans les cuvettes.

La répartition par système d'irrigation est la suivante:

Grands aménagements irrigués par canaux à ciel ouvert: 13.950 ha

Grands aménagements irrigués par système Californien: 3.100 ha

Grands aménagements irrigués par submersion contrôlée: 1.550 ha

Développement de la petite irrigation sur une superficie de: 12.400 ha.

Composantes d'aménagement

Les composantes principales des aménagements retenus comprennent:

Stations de pompage pour desservir les cuvettes et les terrasses par refoulement des eaux à partir du fleuve,

Groupes motopompes pour la desserte de la petite irrigation,

Canaux d'adduction ou conduites de refoulement. Les canaux primaires sont en béton et les secondaires et tertiaires en terre,

Réseaux de distribution en conduites ou en canaux (bétonnés ou en terre),

Réseaux de drainage et d'assainissement,

Digues de protection contre les crues,

Ouvrages d'art (ponts, dalots, buses, déversoirs de sécurité, etc.),

Equipement hydromécanique et hydroélectrique pour la gestion et le contrôle de la distribution des eaux,

Pistes d'accès et d'entretien,

Réseaux d'électrification,

Locaux de gestion.

Phasage de réalisation

Le rythme d'aménagement dépendra de l'atténuation des contraintes auxquelles est confronté le secteur de l'agriculture au Niger et de la mise en marche des programmes de formation, des réformes institutionnelles, et d'autres programmes d'appui. Le taux retenu pour les développements futurs est de 1.000 ha/an (voir Tableau 5-5).

La programmation basée sur la réalisation annuelle des 1.000 ha de 2004 à 2034 se

répartit en 600 ha de grande irrigation et 400 ha de petite irrigation pour tenir compte de la politique nationale en matière d'irrigation.

Les 600 ha de la grande irrigation se partagent de la façon suivante :

450 ha pour l'irrigation par canaux à ciel ouvert,

100 ha d'irrigation par système Californien,

50 ha d'irrigation par submersion contrôlée.

Hormis le dernier système exclusivement aménagé en cuvettes et le second en terrasses, la superficie pour l'irrigation par canaux à ciel ouvert sera équitablement répartie entre les cuvettes et les terrasses. Il en est de même pour les 400 ha affectés à la petite irrigation.

Suivant cette hypothèse, ce sont 525 ha et 475 ha qui seront aménagés respectivement en terrasses et en cuvettes chaque année et bien répartis entre les 3 zones (Nord, Centre et Sud). Ainsi, un total de 16.275 ha en terrasses et de 14.725 ha en cuvettes sera réalisé entre 2004 et 2034.

Tableau 5-5: Aménagement hydro-agricole, phasage de réalisation

5.5 COÛTS DU BARRAGE ET DE LA CENTRALE

Les coûts totaux de construction ont été calculés sur la base de métrés de matériaux et des prix unitaires qui ont été établis à partir d'une vaste banque de données des coûts unitaires de grands projets internationaux de constructions hydrauliques et d'aménagements hydroélectriques. A ce propos, une priorité particulière a été accordée aux projets en Afrique de l'Ouest, pour bien refléter les particularités économiques au Niger, notamment en ce qui concerne l'approvisionnement en matériaux de construction et le coût de la main-d'œuvre locale. Les coûts définis pour les équipements hydromécaniques et électriques sont conformes au niveau international habituel des coûts pour des projets comparables.

Le sommaire des résultats de l'estimation des coûts est reproduit au Tableau 5-6 suivant:

(Tableau du résumé du Vol. I, Phase II)

Tableau 5-6: Résultats de l'estimation des coûts du barrage et de la centrale hydroélectrique

Tous les prix sont indiqués en Euro (€) et sont basés sur le niveau des prix d'avril 2000. La conversion en Francs CFA et US\$ est 1,00 € = 1,00 US\$ = 656 Francs CFA. Il faut mentionner que le prix s'entend hors taxes.

5.6 COÛTS DES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES

Les coûts d'investissement et de renouvellement ainsi que les coûts d'entretien/exploitation et de l'énergie électrique pour les différents types d'aménagements arrêtés pour les terrasses et les cuvettes se présentent sommairement comme suit (Tableau 5-7):

Quant au coût des mesures d'accompagnement dont le volume varie d'un projet à l'autre, et dont le temps d'exécution est également variable, il a été estimé en moyenne à 10% des coûts d'investissement globaux.

Tableau 5-7: Coûts des aménagements

6 IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

6.1 GENERALITES

L'évaluation des impacts sur l'environnement du barrage de Kandadji a été établie conformément aux approches recommandées par la Banque Mondiale et s'est articulée autour des quatre objectifs suivants :

- Tenir compte de la situation environnementale actuelle et des tendances croissantes à la sécheresse et à la désertification particulièrement dans le cas de la non-réalisation du projet ;
- Donner une vue globale de l'échelle et de la diversité des impacts potentiels du projet ;
- Indiquer les possibles mesures d'atténuation qui seraient nécessaires suite à la réalisation du projet de Kandadji ;
- Montrer comment les options alternatives de développement pourraient éventuellement permettre de moduler et d'ajuster les impacts du projet ainsi que les besoins en mesures d'atténuation correspondantes.

Ainsi, une vaste gamme d'impacts du projet a été identifiée dans les domaines aussi bien physiques, biologiques qu'humains, dont les principales conclusions sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

6.2 IMPACTS BIOPHYSIQUES

6.2.1 Hydrologie - Hydrogéologie

Le projet proposé aura un impact bien marqué sur les systèmes hydrologiques:

- Le site du barrage est situé à 61 km de la frontière du Mali et à 187 km au Nord de la capitale Niamey. Le projet exercera donc un certain contrôle sur environ 500 km du fleuve à l'intérieur du Niger;
- La zone opérationnelle (comprise entre l'axe du barrage et le point à partir duquel le fleuve retrouve son régime naturel) sera très limitée, de l'ordre de 0,5 km;
- Les débits en aval seront soutenus de manière significative en période d'étiage par le maintien d'un débit minimum de 120 m³/s alors que le mode de gestion de la future retenue n'a qu'une faible influence sur les crues du fleuve. Ceci est dû au fait que les volumes de retenue d'ensemble sont assez faibles, de l'ordre de 1,6 milliards de m³, ce qui ne représente qu'entre 5% et 8% des écoulements annuels.
- Le barrage de Kandadji n'aura qu'une influence négligeable sur le débit annuel du fleuve Niger au Nigeria. Par contre, le soutien d'étiage assuré par le barrage (120 m³/s à Niamey) aura certainement des retombées bénéfiques pour le fleuve Niger au Nigeria.
- On s'attendra à une contribution à la recharge des nappes que ce soit à partir de la retenue (infiltrations) ou au niveau des zones en aval par le soutien des débits d'étiages en périodes sèches.

6.2.2 Sédimentation

La moyenne des apports solides à long terme dans le futur réservoir de Kandadji a été estimée à 3×10^6 t/an. Cette valeur est considérée comme relativement basse et ne fait pas craindre de la perte de capacité de la retenue par sédimentation. En effet, la perte du volume est estimée à 7 % après 50 ans et à 13 % après 100 ans. La durée de vie du barrage de Kandadji sera alors de plus de 300 ans, ce qui est fondamental pour un tel ouvrage qui pourrait ainsi assurer la disponibilité des ressources hydriques de la vallée du fleuve Niger pour une aussi longue période.

Par ailleurs, le fait de soutenir les étiages en saison sèche par le maintien d'un débit minimum de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ne peut que contribuer à la lutte contre l'ensablement du fleuve dans sa partie en aval du barrage et qui constitue actuellement une menace sérieuse pour le fleuve Niger, pour les activités y afférentes et pour l'écosystème fluvial en général. En effet:

- le soutien d'étiage permettra la création de nouvelles zones humides le long de la vallée du fleuve Niger et augmentera ainsi le taux d'humidité et la fertilité naturelle des sols. Ces facteurs favoriseraient la régénération de la végétation naturelle qui réduirait ainsi l'érosion des sols et l'avance de la désertification.
- la possibilité de recharge des nappes par l'infiltration des eaux du barrage et le soutien des débits d'étiage du fleuve dans sa partie aval est de nature à stimuler le développement du couvert végétal, ce qui réduirait l'érosion et l'ensablement du fleuve.

6.2.3 Biodiversité

Malgré la faiblesse de la base de données, on considère comme extrêmement improbable une réduction significative de la biodiversité régionale à la suite de la réalisation du projet. Au contraire, des avantages substantiels dans le maintien des niveaux d'humidité élevés dans la plaine d'inondation en aval du site du barrage ainsi que la création d'un écosystème nouvel (retenue) peuvent être escomptés à long terme. Le projet maintiendra ou même augmentera la taille et la diversité de la base des ressources naturelles, ce qui se traduira par le maintien des niveaux nets de la productivité naturelle. La perte des habitats/biotopes dans les zones inondées par la retenue est peut-être assez significative, mais les avantages procurés aux habitats situés surtout en aval ainsi que le renforcement potentiel des fonctions et services qui leur sont associés compenseront largement les aspects négatifs.

Un certain nombre d'espèces localement rares et importantes sur le plan international (espèces menacées) utilisent les habitats qui connaîtront un total changement ou des modifications significatives. L'importance relative de tels effets est inconnue et devrait faire l'objet d'une étude et d'une évaluation spécifiques.

De nouveaux cadres environnementaux seront créés comme suit : (a) l'habitat aquatique de la retenue, (b) zones extensives de marnage, (c) systèmes inondés du delta, (d) habitat perturbé de la zone opérationnelle et (e) zones humides du lit majeur résultant à la fois de l'exondation de la plaine alluviale (crues) et de l'élargissement de cette dernière en saison sèche (soutien d'étiage).

Du point de vue ressources halieutiques, la régulation proposée pour le barrage de Kandadji est de nature, d'une part à préserver le stock piscicole ainsi que la productivité du milieu à long terme, et d'autre part à renforcer le développement de la pisciculture (en étang et/ou en cages) des sites existants en aval de Kandadji et actuellement menacés par la variabilité des

débits. De plus le réservoir, compte tenu de l'importance du volume et de la hauteur d'eau (28.200 ha pour une hauteur moyenne de 5,6 m), offre une opportunité de développement de la pisciculture en cages.

Enfin, la réalisation du barrage de Kandadji contribuera à la lutte contre la désertification par :

- la réduction de la dégradation progressive à laquelle sont sujettes actuellement les ressources naturelles (par le surpâturage et la coupe du bois destinée à l'alimentation des troupeaux) due à l'amélioration du potentiel hydrique du fleuve et surtout à la sécurisation des disponibilités fourragères.
- la régénération du couvert végétal due à la création de nouvelles zones humides le long de la vallée du fleuve et à la recharge des nappes.

6.2.4 Qualité d'eau

La plupart des facteurs montrent un apport en phosphore très faible et une retenue initialement ultra-oligotrophe. Les abords de la retenue devraient connaître une faible productivité tandis que les terres intérieures sont largement stériles. Le volume relativement faible qui s'écoule de la retenue et le très peu d'activités anthropiques prévues dans le bassin laissent penser que la qualité de l'eau du réservoir devrait rester bonne.

Par contre, on s'attend à des changements significatifs de la qualité de l'eau dans les zones situées en aval. En effet, une nette amélioration de la qualité des eaux sera apportée à la fois par l'oxygénation (lâchers d'eau) et par la dilution de la pollution rejetée par les agglomérations riveraines du fleuve (particulièrement la ville de Niamey). Ce qui est de nature à augmenter significativement le pouvoir d'auto-épuration du fleuve et la régénération de l'écosystème fluvial.

6.2.5 Risques écologiques

La menace de l'invasion par la jacinthe d'eau douce de la retenue de Kandadji et le risque de l'augmentation de l'infestation des zones situées en aval ne sont pas négligeables. A la lumière de l'expérience dans les autres pays africains, il est pratiquement certain qu'il y aura un développement prolifique de la jacinthe d'eau dans le lac et qui poserait sans doute de sérieux problèmes si la situation n'est pas gérée correctement dès le départ.

Quant à l'eutrophisation, et en absence à la fois d'activités humaines à l'intérieur du bassin et de données relatives aux transports frontaliers de la pollution (rejets domestiques, industriels et agricoles), le risque est considéré limité.

6.3 IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES

6.3.1 Déplacement / recasement des populations

L'impact négatif le plus significatif du projet consiste en le besoin de déplacement des populations de la zone de la future retenue. En effet, il a été estimé qu'environ 35.000 personnes situées dans 15 villages administratifs devraient être recasées suite à la réalisation du barrage de Kandadji.

6.3.2 Inondations des infrastructures

Il est prévu que la création du réservoir de Kandadji ne causera qu'une perte très limitée d'infrastructures. Les impacts connus en ce moment se présentent comme suit:

- Un tronçon d'environ 43 km de la route nationale RN 1 sera reconstruit;
- Sur les seuls 11 villages enquêtés au niveau de la zone de la retenue, les infrastructures suivantes seront inondées:
 - 7 forages,
 - 3 dispensaires,
 - 12 écoles,
 - 30 mosquées en banco,
 - 2 abattoirs,
 - 2 marchés traditionnels,
 - 2 moulins.

6.3.3 Pertes des terres agricoles

Une superficie d'environ 7 000 ha de terres agricoles dont 210 ha pour les aménagements de Firgoun seront inondés par le futur réservoir de Kandadji.

6.3.4 Garantie de l'approvisionnement en eau

Nul doute que l'aspect le plus important du projet réside dans le fait d'assurer la satisfaction de tous les usages d'eau même dans les pires conditions climatiques de sécheresse, à savoir:

- l'approvisionnement en eau potable de Niamey, Tillabéri et des villages riverains, notamment compte tenu des conditions hydrogéologiques peu favorables écartant le recours à l'exploitation des eaux souterraines;
- l'irrigation du potentiel en terres projeté et le soutien de la productivité naturelle des zones humides;
- les besoins en eau industrielle et d'abreuvement du bétail;
- la réhabilitation de sites existants et le développement de nouveaux sites de pisciculture.

6.3.5 Indépendance énergétique

Du point de vue énergie, il est clair que la réalisation du barrage de Kandadji ne peut que générer des impacts positifs, notamment la réduction de la dépendance énergétique de plus en plus accrue par l'accroissement de la demande. Il permettra aussi le développement d'activités qui ne manqueront pas d'être induites par l'accès à l'eau et à une énergie meilleur marché.

6.3.6 Sécurité alimentaire et développement durable

Le maintien de la productivité naturelle de la vallée du fleuve et de l'écosystème fluvial ainsi que la garantie de la satisfaction des différents besoins en eau sont autant d'avantages escomptés à moyen et à long termes et qui contribueront à l'amélioration de la sécurité alimentaire du pays et des conditions économiques des populations, sous réserve qu'une stratégie conséquente soit mise en œuvre.

Sur le plan halieutique, il est attendu que:

- les conditions de pêche seront favorables au niveau du futur réservoir par rapport à la situation actuelle, ce qui va garantir un surplus de production par rapport aux captures contrôlées du poste de statistique d'Ayorou (138,4 tonnes en 1998) d'environ 1.447 tonnes, soit un chiffre d'affaires d'environ 868.000.000 FCFA.
- des opportunités d'emploi seront créées.
- on assistera à un renforcement du développement des activités piscicoles actuellement entravées par les charges d'exploitation élevées liées au pompage de l'eau.
- à long terme, l'aménagement du potentiel halieutique et le développement de la pisciculture en aval est une alternative pour garantir la maîtrise de l'effort de pêche et des flux migratoires au niveau du réservoir afin d'assurer l'exploitation durable et soutenue du potentiel halieutique.

Quant au secteur de l'élevage, la construction du barrage de Kandadji devra se traduire par:

- une disponibilité et l'amélioration des ressources fourragères;
- une augmentation des effectifs et de la production animale, notamment avec l'opportunité du développement du mode d'élevage vers le type intensif avec l'introduction de races exotiques plus performantes;
- la création d'emplois, l'atténuation des conflits, la réduction de la dégradation des ressources naturelles et le maintien sur place des animaux au lieu d'aller en transhumance;
- la disparition de l'élevage sédentaire insulaire et de certaines pistes de transhumance de la zone de la retenue. Toutefois, l'importance de cet effet de barrière est très limitée du fait que le pont sur le futur barrage permettra non seulement le déplacement du bétail d'une rive à l'autre, mais aussi et surtout la promotion des activités économiques liées à l'élevage entre les deux régions importantes du Nord (Tillabéri et Téra) pour lesquelles actuellement aucun point de traversée de fleuve n'existe (à part le bac farié).

Sur le plan de l'agriculture, on s'attendra à:

- l'aménagement d'un potentiel de 31.000 ha;
- l'atténuation des contraintes liées à la disponibilité en eau (garantie de 2 campagnes par an et réduction des charges de pompage);
- la possibilité d'une gestion intégrée de la vallée dans le cadre d'un développement durable;
- une amélioration de la production basée sur l'agro-diversité et une agriculture raisonnée;
- la contribution à la sécurité alimentaire.

6.3.7 Santé publique

Il est clair que la création du réservoir de Kandadji induira un risque majeur pour la santé humaine lié à la création de biotopes favorables au développement des vecteurs de maladies hydriques et des sites de transmission.

Par contre, au niveau des zones en aval, l'amélioration de la qualité de l'eau par le soutien des débits d'étiage et la mise à disposition d'une eau de bonne qualité aura un impact positif sur la réduction des maladies infectieuses et fécales.

6.3.8 Autres impacts indirects

La réalisation du barrage de Kandadji s'accompagnera d'un certain nombre d'impacts indirects, à savoir:

- le désenclavement de la région (auc un point de traversée n'existe actuellement);
- la contribution à la réduction de l'exode rural;
- le développement d'activités industrielles aussi bien en amont qu'en aval des aménagements hydro-agricoles;
- des opportunités d'emploi durant la construction et à l'occasion de nouvelles activités;
- l'amélioration du trafic fluvial par le soutien d'étiage;
- l'accès facile à l'eau souterraine;
- la contribution à la lutte contre la désertification.

6.4 PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE

Un Plan de Gestion Environnementale (PGE) a été développé pour le projet de Kandadji et comprend 4 composantes principales:

- Le Plan de Gestion de la Construction;
- Le Plan d'Atténuation;
- Le Programme de Suivi de l'Environnement;
- L'Organisation et le Renforcement sur le Plan Institutionnel.

Le coût global d'un tel PGE serait assez substantiel, probablement pas inférieur à 100 millions US\$ sur une période de 16 ans :

Phase	Coût (millions US\$)
Programme de pré-construction	75
Programme de construction	2
Programme de post-construction	23

6.5 CONCLUSION

Dans les conditions actuelles de la sécheresse et des modes d'utilisation des ressources du bassin du fleuve Niger, le diagnostic de l'environnement existant a fait ressortir une productivité en déclin pour les systèmes de production, aussi bien naturels qu'artificiels, qui réduiront sévèrement les disponibilités alimentaires aux niveaux régional et local à moyen et long termes. Aussi, il est prévu que de tels effets exerceront une forte pression sur les structures sociales qui régissent les activités dans la région, et aboutiront à un mouvement massif de la population et à la perte de la cohésion sociale.

En supposant des conditions encore plus négatives, liées aux éventuels changements climatiques, les niveaux relativement élevés de biodiversité et de productivité dans la vallée du fleuve Niger seront réduits davantage au point que beaucoup d'activités qui sont actuellement exercées ne seront plus pérennes. Dans de telles circonstances, l'éventualité de l'effondrement rapide des systèmes sociaux est à craindre.

Dans ce contexte, le Projet Kandadji est considéré comme un investissement primordial en infrastructure dans le cadre d'une stratégie d'atténuation destinée à s'assurer que les ressources hydriques d'importance capitale pour la survie des communautés humaines et de la productivité de la vallée du fleuve Niger seront disponibles pour une très longue période. Il n'est donc pas considéré comme un projet de développement typique que l'on pourrait estimer sur la base d'une évaluation des coûts et des avantages sur une période de 30 ans, quel que soit le degré de la prise en compte dans l'évaluation.