

# **GESTION DES RESSOURCES EN EAU DU FLEUVE NIGER UN EXEMPLE DE GESTION TRANSFRONTALIERE : DES MODELES AUX DECISIONS**

Sébastien Chazot, Stéphane Delichère, Guillaume Fabre, Gilles Rocquelain, Rémi Trier, Julien Verdonck, Bruno Voron

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexte général	1
1.2 La question des ouvrages structurants comme porte d'entrée de l'exposé	1
<b>2. LES PROBLEMATIQUES DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU SUR LE BASSIN DU FLEUVE NIGER .....</b>	<b>3</b>
2.1 Les objectifs de développement liés aux ouvrages	3
2.2 Les enjeux en terme de gestion de l'eau	4
2.2.1 Le principe de la régulation inter-saisonnière	4
2.2.2 Les impacts des ouvrages sur les zones humides du bassin, en particulier le Delta Intérieur du Niger	4
2.2.3 Les impacts d'ouvrages en projet sur les infrastructures existantes	5
<b>3. LES OUTILS ET CONCEPTS D'AIDE A LA DECISION MIS EN PLACE .....</b>	<b>6</b>
3.1 Les concepts de Zones de Développement et d'iso-satisfaction	6
3.2 Modèle de simulation hydraulique	6
3.2.1 Construction et calage du modèle	7
3.2.2 Exploitation du modèle	7
3.3 Modèle de simulation économique	7
<b>4. ELABORATION DU PLAN D'ACTION DE DEVELOPPEMENT DURABLE .....</b>	<b>9</b>
4.1 Arbre des chemins possibles	9
4.2 Résultats des simulations	11
<b>5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>14</b>
5.1 Les difficultés rencontrées	14
5.2 Les progrès accomplis	14
5.3 Perspectives	15
5.4 Conclusion	15
<b>6. REFERENCES .....</b>	<b>16</b>

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE GENERAL

Le bassin versant du Niger couvre plus de 2 000 000 de km<sup>2</sup> répartis sur 10 pays (Guinée, Côte d'Ivoire, Mali, Burkina Faso, Algérie, Niger, Bénin, Tchad, Cameroun, Nigeria). Les enjeux démographiques auxquels il est confronté, l'accroissement consécutif des besoins en eau et en énergie, la menace d'une poursuite du cycle de sécheresses débuté au début des années 1970 et les enjeux environnementaux ont amené les états membres à engager, dans le cadre de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN), un processus de « Vision Partagée ». Ce processus doit aboutir à la formulation d'un programme dans « trois domaines prioritaires » permettant la coordination des approches intégrées d'aménagement et de protection du bassin du fleuve : (i) la conservation des écosystèmes, (ii) le développement des infrastructures économiques, et (iii) le renforcement des capacités et l'implication des parties prenantes.

Aujourd'hui, plus de 100 millions d'habitants vivent dans le bassin du fleuve et ils seront probablement plus de 180 millions en 2025. Leurs conditions de vie sont aujourd'hui menacées par une forte réduction des écoulements du Niger (l'écoulement annuel moyen à Bamako sur la période 1970-2005 est inférieur de plus de 30% à celui sur la période 1905-1970) liée à la baisse des précipitations ; la répartition équitable des ressources en eau et la préservation des écosystèmes aquatiques du bassin (dont le Delta Intérieur ou le Delta maritime, vastes zones humides remarquables) sont ainsi deux des défis les plus importants qu'auront à relever les pays du bassin.

L'ABN a donc initié une réflexion globale et intégrée permettant d'élaborer un Plan d'Action et de Développement Durable (PADD) devant être mis en œuvre dès 2008.

Cette présentation est destinée à exposer la démarche ainsi que les outils et méthodes utilisés pour la mener à son terme. BRLi a été largement associé à cette démarche à travers diverses prestations menées pour l'ABN.

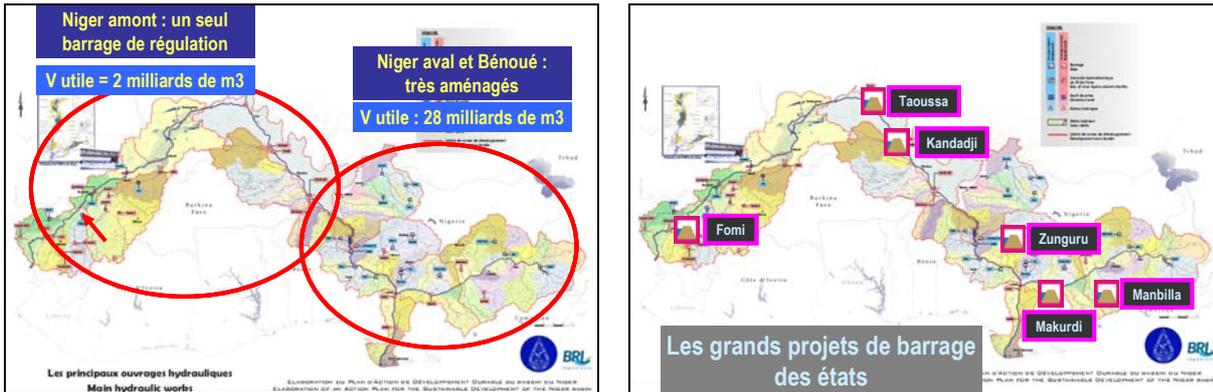
Nous présenterons successivement : (i) les problématiques de gestion intégrée des ressources en eau qui se posent sur le bassin, (ii) les outils d'aide à la décision mis en place, (iii) l'élaboration du PADD et (iv) l'avancement des décisions sur le bassin.

## 1.2 LA QUESTION DES OUVRAGES STRUCTURANTS COMME PORTE D'ENTREE DE L'EXPOSE

Les « domaines prioritaires » du processus de vision partagée sur le bassin du Niger dépassent la seule problématique des barrages existants et des projets de nouveaux barrages structurants. Toutefois, ces barrages et les prélèvements en eau associés (principalement agricoles) ont été et restent le facteur moteur de la volonté de coopération entre les états du bassin : ils constituent un des sujets majeurs de débat.

Nous avons donc choisi comme « porte d'entrée » de l'exposé cette question des ouvrages structurants qui est transverse à tous les sujets abordés dans le PADD. Pour simplifier, la situation actuelle sur le bassin, en terme d'ouvrages structurants, est la suivante :

- ▶ la partie du bassin située entre la Guinée et le Nigéria (« Niger amont ») ne comprend qu'un seul ouvrage d'envergure : le barrage de Sélingué (2 200 Mm<sup>3</sup>), situé sur un affluent du fleuve, le Sankarani, au Mali.
- ▶ la partie plus aval du bassin (« Niger aval et Bénoué »), comprend par contre de nombreux ouvrages qui totalisent un volume utile de 28 milliards de m<sup>3</sup>. Les plus importants sont les barrage de Kainji (14 000 Mm<sup>3</sup>), Jebba (3 900 Mm<sup>3</sup>), Shiroro (7 000 Mm<sup>3</sup>), Dadin Kowa (2 900 Mm<sup>3</sup>), Kiri (600 Mm<sup>3</sup>) au Nigéria et le barrage de Lagdo au Cameroun (6 000 Mm<sup>3</sup>).



Il existe aujourd'hui des projets de nouveaux ouvrages structurants sur ces deux grandes zones. Ceux situés sur la zone « Niger aval et Bénoué » se trouvent au Nigéria et n'ont pas d'impact hydrologique sur d'autres états. Les projets situés sur la zone « Niger amont » soulèvent par contre de nombreuses questions transfrontalières. Il s'agit principalement de trois ouvrages : (i) projet de barrage de Fomi (6 200 Mm<sup>3</sup>), en Guinée, (ii) projet de barrage de Taoussa (3 000 Mm<sup>3</sup>), au Mali et (iii) projet de barrage de Kandadji (1 600 Mm<sup>3</sup>), au Niger.

Ces trois projets, situés sur le même axe hydraulique, de l'amont vers l'aval, soulèvent des questions qui doivent être posées à l'échelle de l'ensemble de « l'artère Niger » et pas seulement dans les seuls pays porteurs des projets. La mesure a priori de leurs impacts positifs et négatifs a été l'objet d'une part importante des travaux ayant conduit au PADD.

Plusieurs facteurs rendent particulièrement complexes ces questions, dont

- ▶ la présence sur le fleuve d'une zone humide d'intérêt remarquable, en aval du projet de barrage de Fomi, dans la boucle que forme le fleuve avant de redescendre vers le sud est : le Delta Intérieur du Niger (DIN) ;
- ▶ les barrages déjà existants (au Nigéria) à l'aval des barrages en projets. Ces barrages existants seront potentiellement impactés par les projets situés plus en amont.

## 2. LES PROBLEMATIQUES DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU SUR LE BASSIN DU FLEUVE NIGER

### 2.1 LES OBJECTIFS DE DEVELOPPEMENT LIES AUX OUVRAGES

L'aménagement durable du fleuve doit permettre de satisfaire des besoins essentiels tout en minimisant les impacts négatifs des ouvrages sur les populations et les écosystèmes.

#### EAU POTABLE ET ABREUVEMENT DU CHEPTEL

A l'échelle du bassin, les besoins passeraient, entre 2005 et 2025, de 820 Mm<sup>3</sup> / an à 2 700 Mm<sup>3</sup> / an pour l'eau potable et de 220 Mm<sup>3</sup> / an à 390 Mm<sup>3</sup> / an pour le cheptel.

*C'est l'objectif de développement prioritaire : assurer à l'ensemble des populations une alimentation en eau potable de qualité et suffisante en quantité.*

#### BON ETAT ECOLOGIQUE DU COURS D'EAU

Après des débits élevés en période de crue (de l'ordre de 2 000 m<sup>3</sup>/s à Niamey par exemple), les débits du fleuve en étiage descendent très bas (débit moyen sur 10 jours de temps de retour 10 ans de 4 à 5 m<sup>3</sup>/s à Niamey par exemple). L'écoulement superficiel du fleuve a même cessé à Niamey pendant quelques jours en 1985.

*Un des objectifs des projets de barrage est de maintenir des débits minimums dans le fleuve en période de basses eaux. Les débits cibles vont de 50 à 80 m<sup>3</sup>/s selon les biefs.*

#### DEVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE DANS LES PERIODES OU L'EAU CONSTITUE UNE LIMITE

Potentiellement, deux cycles de cultures peuvent être réalisés : hivernage et contre-saison. 137 000 ha en hivernage et 102 000 ha en contre-saison sont déjà irrigués sur la partie du bassin étudiée plus spécifiquement dans l'exposé (« Niger amont »). En situation actuelle, la ressource en eau est limitante pour le développement de cette agriculture : (i) la marge de manœuvre pour augmenter les surfaces irriguées pendant le cycle de contre-saison (qui intervient globalement pendant la période de basses eaux) est faible et (ii) sur certaines zones, la ressource en eau limite également le démarrage des cultures d'hivernage.

En stockant de l'eau en saison de hautes-eaux, pour la restituer en période de basses-eaux, les barrages permettraient de développer les superficies pendant chacun des cycles avec en filigrane cette question : « Jusqu'où est-il possible d'augmenter les superficies irriguées, tout en respectant les lignes rouges environnementales (débits minimums ou impacts sur les zones humides) et tout en satisfaisant les besoins d'AEP et d'abreuvement du cheptel ? »

#### LA NAVIGATION

Les barrages sont susceptibles d'améliorer la navigabilité du fleuve en augmentant la période où les débits sont suffisamment élevés pour naviguer.

#### LA PRODUCTION HYDROELECTRIQUE

La question est très complexe et doit être notamment approchée à l'échelle du bassin versant. Les différents effets de nouveaux ouvrages sur la production énergétique peuvent être opposés :

- ▶ localement, une usine hydroélectrique associée à un barrage accroît la production d'énergie,
- ▶ à l'échelle du bassin, le barrage peut toutefois diminuer la quantité globale d'énergie produite. En réduisant le flux d'eau global transitant vers l'aval (du fait de l'évaporation sur la retenue du barrage et des prélèvements en eau accrus grâce au barrage), il impacte la production électrique des barrages situés plus en aval.

## 2.2 LES ENJEUX EN TERME DE GESTION DE L'EAU

Ces objectifs de développement entraînent certains enjeux de gestion de l'eau sur le bassin du Niger.

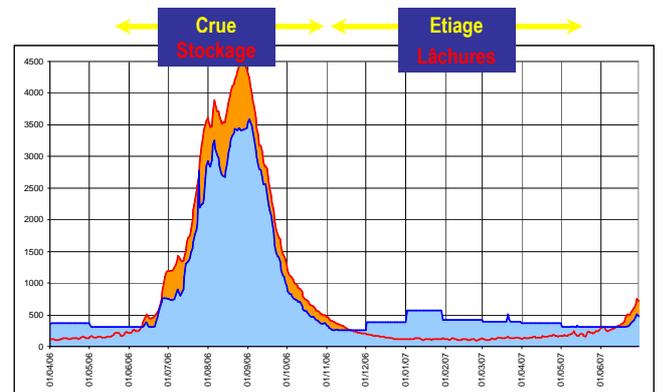
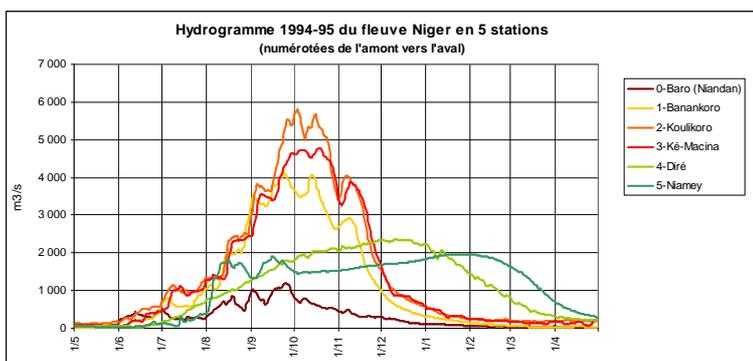
### 2.2.1 Le principe de la régulation inter-saisonnière

Le bassin est rythmé par le cycle hautes eaux – basses eaux. La mousson (qui s'étend selon les zones sur 5 à 8 mois, entre mars et octobre) va générer sur les différents sous-bassins une crue. Cette crue annuelle va avoir lieu, globalement, à la même saison sur les différents affluents. Sa durée et son intensité seront cependant très variables selon la taille des sous-bassins et l'importance des pluies. Des crues de plus courte durée pourront aussi avoir lieu, s'additionnant éventuellement avec cette crue annuelle.

Au niveau de l'artère Niger, les hydrogrammes des différents affluents vont s'additionner pour former une onde de crue qui va connaître un lent déplacement de l'amont vers l'aval et un amortissement, en particulier lors de la traversée du DIN, vaste zone où le fleuve se divise en une multitude de bras alimentant des lacs permanents ou temporaires, avant de se rassembler en une seule branche.

Au phénomène de crue succède un phénomène d'étiage plus ou moins prononcé selon les années.

Les graphes ci-dessous représentent (i) la variation du débit du fleuve en 1994/95 en différents points du bassin et (ii) l'effet prévisible de la mise en place de barrages régulateurs qui stockent de l'eau pendant la crue et la restituent pendant la saison sèche.



### 2.2.2 Les impacts des ouvrages sur les zones humides du bassin, en particulier le Delta Intérieur du Niger

Quelles sont les conséquences sur le DIN du développement des prélèvements et de la régulation de la ressource en amont ?

*L'inondation du delta intérieur dépend de l'importance de la crue. Plus il entre d'eau dans le delta intérieur plus il est inondé. Sa surface inondée varie ainsi beaucoup d'une année sur l'autre en fonction de l'importance de la crue du fleuve.*

*La richesse associée au delta dépend de son inondation.* Plus la zone est inondée, plus ses richesses sont importantes : la production de riz de submersion, la production de bourgou (plante servant d'aliment pour le bétail), la production halieutique, la richesse floristique et faunistique sont très fortement corrélées à l'inondation du delta. Plusieurs études mettent en évidence et quantifient ces corrélations. Par exemple, il a été calculé que la production annuelle de riz dans le delta intérieur varie entre moins de 40 000 et plus de 160 000 tonnes de riz (avec une moyenne d'environ 86 000 tonnes de riz), selon le niveau de la crue.

*La modification de l'hydrogramme peut donc modifier la richesse associée à la zone.* La crue peut être diminuée par deux phénomènes : (i) le remplissage des barrages (dont la vidange servira pour le démarrage du cycle d'hivernage, le cycle de contre-saison, le maintien d'un débit objectif et la production hydroélectrique) et (ii) les prélèvements liés au cycle d'hivernage. L'impact relatif de ces phénomènes sera beaucoup plus fort en année sèche qu'en année humide.

Dans le cas étudié, deux questions sont soulevées concernant l'inondation du DIN.

- ▶ Comment le barrage existant de Sélingué (Mali), situé en amont du DIN, modifie-t-il déjà son inondation et impacte ses richesses ?
- ▶ Comment le projet de barrage de Fomi (Guinée) pourrait-il impacter le DIN ?

Cette question laisse entrevoir la nécessité de mettre en balance les impacts positifs et négatifs d'un tel ouvrage. Cette mise en balance est détaillée plus bas.

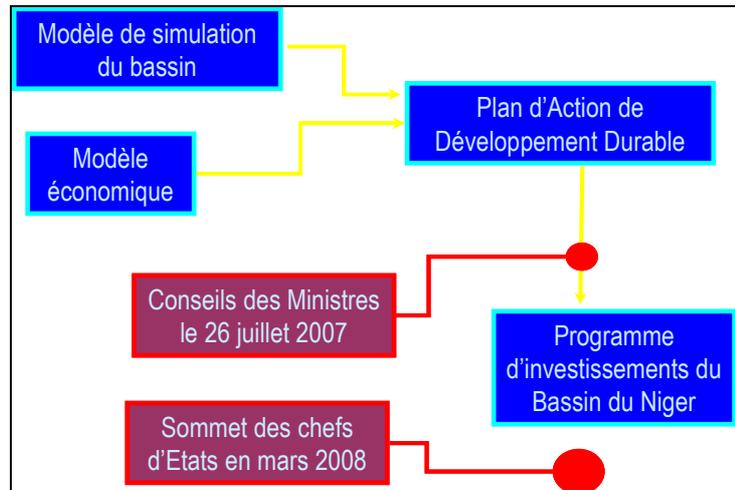
### **2.2.3 Les impacts d'ouvrages en projet sur les infrastructures existantes**

Comme signalé plus haut, la mise en place de nouveaux barrages peut impacter ceux déjà construits et situés plus en aval, spécialement en ce qui concerne la production d'énergie hydroélectrique.

### 3. LES OUTILS ET CONCEPTS D'AIDE A LA DECISION MIS EN PLACE

Comme le schématise la figure ci contre, deux outils principaux ont permis le développement du PADD : (i) le modèle de simulation hydraulique et (ii) le modèle de simulation économique. Le PADD lui-même a ensuite servi de support à l'élaboration du Programme d'investissements du Bassin du Niger.

Deux concepts, décrits brièvement ci-dessous, ont guidé le développement de ces outils : (i) le concept de zones de développement et (ii) le concept d'iso-satisfaction.



#### 3.1 LES CONCEPTS DE ZONES DE DEVELOPPEMENT ET D'ISO-SATISFACTION

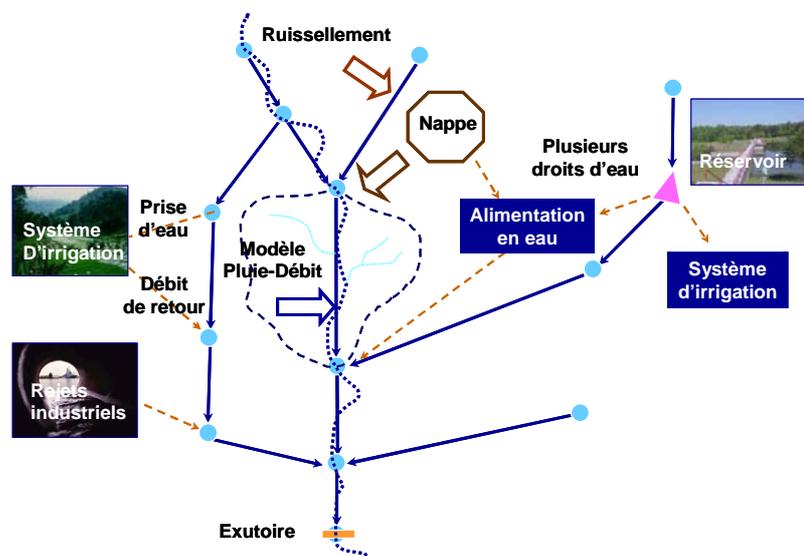
Le bassin a été divisé en 11 **Zones de Développement** (ZD), ce qui a permis de (i) prendre en compte un certain degré d'homogénéité des régions, (ii) planifier le développement du bassin à une échelle adéquate, (iii) s'affranchir des frontières nationales, (iv) respecter les principes de la GIRE en considérant des sous-bassins hydrologiques comme ZD, (v) prendre en compte l'impossibilité d'analyser tous les secteurs économiques, sociaux et environnementaux en utilisant le même découpage spatial.

Les outils/modèles utilisés ont recherché une satisfaction équitable des besoins en eau au niveau des points de prélèvements régulés sur le bassin. Ainsi, des prélèvements potentiels situés à l'aval d'un ouvrage et pouvant bénéficier à priori des lâchers de cet ouvrage sont traités de la même manière en terme de satisfaction des besoins. Les « curseurs de prélèvements » peuvent se déplacer, mais uniquement de manière homogène et linéaire depuis la situation actuelle vers l'objectif 2025. Ce **principe d'iso-satisfaction** a servi de contrainte méthodologique forte aux différents modèles utilisés.

#### 3.2 MODELE DE SIMULATION HYDRAULIQUE

Un modèle de simulation hydraulique a été construit, calé et installé au siège de l'ABN. La figure ci-contre schématise les principes de fonctionnement d'un tel modèle.

Ce modèle a permis de simuler le fonctionnement hydrologique et la gestion des ressources à l'échelle globale et à l'échelle locale de l'ensemble du bassin du Niger.



### 3.2.1 Construction et calage du modèle

Le modèle a été réalisé à l'aide du logiciel Mike Basin. Il s'agit d'un modèle de type hydrologique : le réseau hydrographique est discrétisé par des nœuds situés aux endroits stratégiques des cours d'eau (stations hydrométriques, confluences, ouvrages hydrauliques tels que barrages ou points de prélèvements...). Sur chaque nœud est effectué un bilan des entrées sorties de débit au pas de temps journalier. Les sorties d'un nœud sont propagées jusqu'au nœud suivant à l'aide d'équations simplifiées de type Muskingum.

Les principales caractéristiques du modèle de simulation hydraulique du bassin du Niger sont les suivantes : (i) le bassin a été découpé en 60 sous-bassins, (ii) 445 nœuds ont été introduits, (iii) les données de 66 stations hydrométriques ont été exploitées, (iv) 23 barrages existants ont été pris en compte dans le modèle (barrages de stockage et barrages hydroélectriques au fil de l'eau), 93 points de prélèvement ont été utilisés pour les différents usages (AEP, cheptel, irrigation).

Le calage consiste à comparer les hydrogrammes propagés avec ceux observés aux nœuds pour lesquels on dispose de cette information (stations de jaugeage). Les ajustements possibles concernent les paramètres des équations de propagation ainsi que la modification des apports intermédiaires entre deux nœuds. Le calage du modèle a été effectué sur la période 1966-1989 pour laquelle nous disposons du maximum de données disponibles, période également jugée représentative des différentes hydraulicités (années humides, moyennes, sèches à très sèches) et de la tendance au réchauffement climatique. Une attention particulière a été portée sur le DIN pour lequel nous avons vérifié la bonne représentation du transfert des volumes, des écrêtements et des temps de propagation pour les différents cycles hydrologiques, à travers les limnigrammes annuels et la variation des surfaces inondées, principale variable explicative des aléas du développement local.

### 3.2.2 Exploitation du modèle

L'exploitation du modèle a permis de mettre en cohérence les différents projets d'aménagement identifiés, que ce soit en termes d'ouvrages de stockage, de prélèvements ou de satisfaction de contraintes environnementales.

Huit niveaux d'iso-satisfaction ont été définis. Le niveau 1 correspond à la situation actuelle des prélèvements, sauf pour l'AEP et le cheptel où l'on se place à l'horizon 2025 (la satisfaction des besoins de prélèvements pour l'AEP et le cheptel est ainsi prioritaire). Le niveau 2 correspond à la situation que l'on peut atteindre avec l'optimisation de la gestion du barrage existant de Sélingué. Le niveau 8 correspond à la situation de développement maximum à l'horizon 2025. Entre le niveau 2 et le niveau 8, les superficies irriguées augmentent de manière linéaire.

L'exploitation du modèle a consisté à analyser de nombreuses combinaisons d'aménagements (avec les barrages de Fomi, Taoussa et Kandadji notamment), de respects de débits environnementaux, de niveaux de production hydroélectrique, de niveaux d'inondation du DIN et de niveaux de satisfaction des besoins de prélèvement.

## 3.3 MODELE DE SIMULATION ECONOMIQUE

Un outil de simulation économique a été construit et lié au modèle hydraulique. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision qui calcule, pour chaque scénario testé, différentes grandeurs (externalités) pouvant être déduites des résultats hydrauliques.

Certaines de ces externalités ont été traduites sous forme monétaire : cultures irriguées, production hydroélectrique, pêche, navigation, superficie inondée dans le delta intérieur autres zones humides et bénéfiques environnementaux associés (populations d'oiseaux, végétation préservée, autoépuration, frayères, bourgoutières, etc. en utilisant les notions de Services Rendus par les Ecosystèmes).

D'autres externalités sociales ou environnementales n'ont pas été monétarisées comme : la couverture des besoins alimentaires, la création d'emplois.

Les indicateurs économiques. Nous avons comparé les effets quantifiés du scénario (traduits en valeur ajoutée des différentes activités d'agriculture, de pêche, de navigation, de productible, les bénéfices environnementaux, etc.) et les charges, en particulier les investissements et charges d'exploitation et de maintenance des barrages. Les externalités monétarisées ont donné lieu à un calcul de Taux Interne de Rentabilité (TIR), de ratio Bénéfices / Coûts et de Valeur Ajoutée Nette (VAN), disponible pour le bassin, par ZD ou par pays.

La création d'emploi. Une estimation de la création d'emplois a été réalisée à partir de l'augmentation des superficies irriguées et des productions de pêche.

La couverture des besoins alimentaires. La production céréalière de chaque scénario a été comparée aux besoins nationaux et régionaux de manière à percevoir la contribution de chaque scénario à l'augmentation de la sécurité alimentaire pour le bassin, les ZD et les pays concernés.

Des tests de sensibilité ont été menés en faisant varier notamment :

- ▶ la valeur des Services Rendus par les Ecosystèmes entre -30% et +20%,
- ▶ la valeur ajoutée liée à la production d'hydroélectricité,
- ▶ la consommation en eau,
- ▶ le prix du riz paddy.

## 4. ELABORATION DU PLAN D'ACTION DE DEVELOPPEMENT DURABLE

Le PADD a constitué (entre autre) un cadre pour examiner l'opportunité des combinaisons des grands ouvrages de régulation à l'échelle du bassin. L'élaboration du PADD a fait l'objet de nombreuses interactions/synergies entre les différentes équipes du PADD, du modèle hydraulique, du modèle économique, puis du programme d'investissement.

Selon la logique hydraulique, plus un ouvrage de régulation est situé en amont, plus la longueur de cours d'eau sur laquelle il peut avoir de l'effet est importante. Selon cette logique, nous avons développé un « arbre des chemins possibles », dans le temps et l'espace, correspondant aux différentes possibilités d'aménagement (construction d'ouvrage et modalités de gestion par exemple) pour répondre aux objectifs examinés plus haut.

La méthode retenue pour l'analyse fut la suivante :

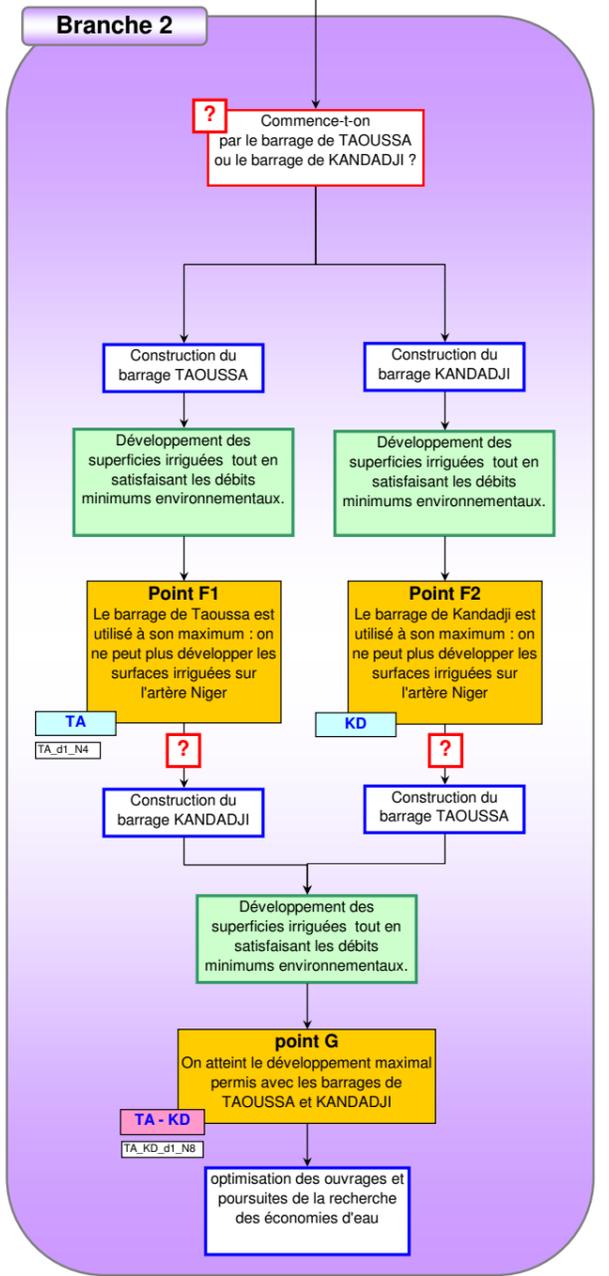
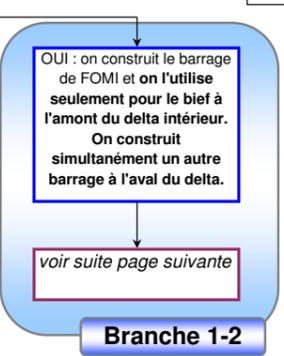
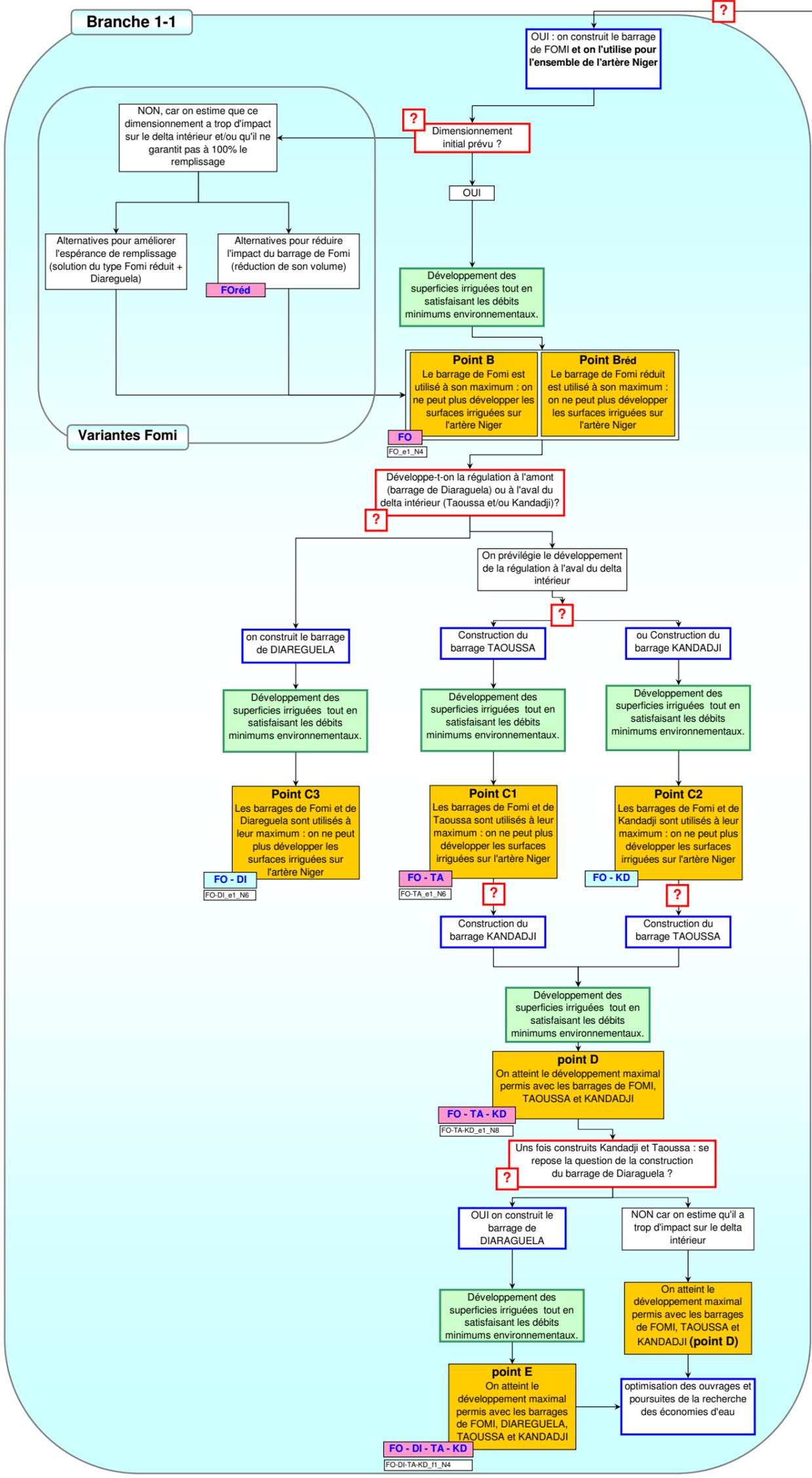
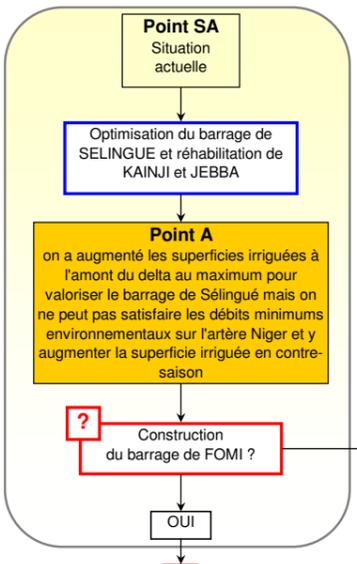
- (i) se placer à un point de l'arbre des chemins possibles correspondant à une combinaison d'aménagements ;
- (ii) se fixer les contraintes environnementales en terme de débits minimums en période d'étiage ;
- (iii) caler les prélèvements à l'horizon 2025 pour l'AEP et le Cheptel ;
- (iv) rechercher la superficie irrigable maximale en ajustant le « curseur des prélèvements » et en respectant le principe d'iso-satisfaction ;
- (v) analyser l'impact sur le delta intérieur ;
- (vi) analyser l'impact sur la production hydroélectrique ;
- (vii) approfondir l'analyse par des calculs économiques.

### 4.1 ARBRE DES CHEMINS POSSIBLES

L'hypothèse fondatrice de la démarche « amont -> aval » proposée est l'idée que le barrage de Fomi seul, de par sa position à l'amont de l'artère Niger, peut répondre aux objectifs environnementaux et agricoles (jusqu'à un certain développement) sur l'ensemble de l'artère Niger. Le fait de poser cette hypothèse soulève d'emblée plusieurs questions :

- ▶ est-ce que les impacts du barrage de Fomi (dans l'état actuel de son dimensionnement) sur le delta intérieur sont acceptables ?
- ▶ est-ce que le barrage de Fomi pourra effectivement assurer un soutien d'étiage à l'aval du delta intérieur ?
- ▶ si on réalise le barrage de Fomi : n'est il pas justifié de réaliser tout de même, tout de suite, le barrage de Taoussa et/ou de Kandadji ?
- ▶ dans tous les cas, est-il plus judicieux de réaliser d'abord Taoussa ou Kandadji ? ...

Toutes ces questions sont formalisées dans le graphique suivant, que nous avons appelés « **arbre des chemins possibles** ».



Cet arbre contient aussi des ouvertures possibles sur d'autres possibilités d'aménagement que nous n'étudierons pas ici, comme le barrage de Diaraguela en Guinée, ou la possibilité de réduire la capacité du barrage de Fomi. La méthode d'élaboration de cet arbre est décrite dans les points suivants.

- ▶ Il comporte des situations physiques (c'est-à-dire les aménagements + les surfaces agricoles irriguées), auxquelles correspondent une production de richesses (satisfaction de débits minimums pour le fleuve, irrigation, production électrique, pêche, ...) et des impacts négatifs (réduction de la superficie du delta en particulier). C'est ce que nous avons appelé « les points » nommés par des lettres majuscules. Les points sont représentés par des encadrés de couleur orange (pour les situations futures) ou jaune (pour l'actuel) :

Exemple :

**Point B**

Le barrage de Fomi est utilisé à son maximum : on ne peut plus développer les surfaces irriguées sur l'artère Niger

- ▶ Il comporte ensuite des décisions à prendre (principalement sur l'opportunité de construire ou non un nouvel aménagement ou sur l'ordre des aménagements). Ces décisions sont mentionnées par des points d'interrogations rouges,

Exemple :

? Construction du barrage de FOMI ?

- ▶ Les réalisations concrètes issues des décisions sont indiquées par des cadres de couleur bleu,

Exemple :

Construction du barrage TAOUSSA

- ▶ Enfin, l'arbre comporte des liens entre *un point* et un autre, liens qui traduisent une évolution entre deux états du système : pendant cette évolution, il y a, par exemple, croissance des superficies irriguées. Ces évolutions sont représentées par des encadrés verts associés à des flèches.

Exemple :

Développement des superficies irriguées tout en satisfaisant les débits minimums environnementaux.

Les points (A, B, ...) de l'arbre correspondent à des situations qui peuvent être simulées avec les outils/modèles dont nous disposons.

## 4.2 RESULTATS DES SIMULATIONS

Les principaux paramètres qui ont permis de comparer les choix d'aménagement sont les suivants :

- ▶ Deux paramètres **de nature écologique** pour la préservation des écosystèmes.
  - *La satisfaction de débit minimum d'étiage* en certains points stratégiques.
  - L'impact sur *la réduction de l'inondation des zones humides* et particulièrement du Delta Intérieur (y compris les impacts économiques). Il est conseillé, à moyen terme, de mener cette même analyse sur le Delta Maritime ;
- ▶ Deux paramètres de **nature socio-économique**.
  - *L'accroissement des superficies irriguées*. L'irrigation constitue, à la fois, le plus fort consommateur en eau mais aussi un formidable levier de développement par la création de richesse, d'emplois et par l'importance de l'enjeu de sécurité alimentaire.

- *La production d'hydroélectricité.* Cet enjeu est primordial car il constitue un pilier du développement et de la protection des écosystèmes (en réduisant la pression sur la ressource bois). L'hydroélectricité constitue aussi un facteur d'intégration et de stabilité régionale ainsi qu'un fort potentiel de « monnaie d'échange » entre les Etats au titre du partage des bénéfices.
- Certaines **sorties de l'analyse économique**, et en particulier la Valeur Ajouté Nette et le Taux Interne de Rentabilité en comparant les différents scénarios avec la Situation Actuelle (SA).

Le tableau suivant liste les résultats des combinaisons d'aménagement dont l'étude fut sollicitée par l'ABN.

Combinaison d'aménagements	SA	A	FO	TA-KD	FO-TA	FO-KD	FO-TA-KD
<b>Nœud de l'arbre des chemins possibles</b>	SA	A	B	G	C1	C2	D
<b>Niveau d'iso-satisfaction atteint</b>	1	2	4	2 à l'amont de TA / 8 à l'aval	6	5 à l'amont de KD / 8 à l'aval	8
<b>AEP/Cheptel horizon 2025</b>	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait	Satisfait
<b>Superficie irriguée (milliers ha) sur l'artère Niger</b>	239	396	535	678	717	653	879
<b>Production hydroélectrique totale moyenne (GWh/an)</b>	5 070	5 028	5 230	4 505	4 677	5 390	4 623
<b>Respect des débits environnementaux</b>	non (aval DIN)	non (aval DIN)	oui	non (aval DIN) / oui	oui	oui	oui
<b>Réduction de surface dans le delta intérieur (% en moyenne par rapport à SA)</b>	0%	4%	11%	4%	11%	11%	11%
<b>VAN moyenne (en millions de FCFA / an)</b>	0	- 1000	33 000	- 1 000	25 000	48 000	39 000
<b>TIR</b>	0	2,8 %	7,9 %	3,2 %	6,4 %	8,8 %	6,9 %

SA : Situation actuelle, A : Situation actuelle avec optimisation de la gestion du barrage de Sélingué, FO : Fomi, TA-KD : Taoussa + Kandadji, FO-TA : Fomi + Taoussa, FO-TA-KD : Fomi + Taoussa + Kandadji.

Sur la base de ces résultats, nous pouvons décliner le schéma d'aménagement, du point de vue des ouvrages structurants, sous forme de plusieurs étapes.

#### **Première étape : stockage d'eau en amont des principales artères.**

Cette étape se traduit par la réalisation d'un ouvrage structurant sur l'artère Niger : le barrage de Fomi. Cet ouvrage permettra de maximiser le développement de l'amont du DIN tout en satisfaisant une partie des besoins aval.

#### **Deuxième étape : Gestion du barrage de Fomi et augmentation des superficie agricole.**

La gestion du barrage de Fomi peut permettre d'atteindre le niveau d'iso-satisfaction 4 des superficies irriguées. Des mesures compensatoires devront être prises sur le DIN.

**Troisième étape : aménager un ou deux autres barrages sur l'artère Niger (Kandadji et/ou Taoussa).**

Le choix de lancement de cette étape doit être guidé par la volonté d'un développement hydro-agricole au-delà de ce que la deuxième étape permet, c'est-à-dire une fois que les potentialités auront été effectivement valorisées et qu'un manque d'eau est prévisible. Elle doit prendre en compte l'impact sur la production d'hydroélectricité à l'échelle globale du bassin.

Par ailleurs comme l'exploitation des deux barrages (Fomi et Kandadji ou Taoussa) conduit à une baisse de production hydroélectrique des barrages existants au Nigeria, cette étape doit être complétée par le développement d'ouvrage à but principal de production d'(hydro)électricité au Nigéria, notamment dans les bassins de la Bénoué et de la Kaduna.

**Quatrième étape : faisabilité de nouveaux aménagements de stockage.**

A ce stade, l'étude de la faisabilité de nouveaux ouvrages de stockage devra être menée, au cas où les besoins en eau le justifieraient (très haut niveau d'équipement hydro-agricole) et que les impacts associés soient acceptables au regard de l'expérience des ouvrages déjà réalisés.

A priori, la partie en amont du DIN ne devrait pas être concernée à cause de l'impact identifié sur le DIN, sauf si des éléments nouveaux d'ici là permettaient de remettre en cause les conclusions actuelles. A l'inverse, l'artère Bénoué possède un potentiel considérable d'aménagement à étudier.

Par ailleurs, à ce stade, il sera nécessaire que des gains de productivité soient faits sur les économies d'eau.

**La logique d'aménagement présentée par les étapes ci-dessus correspond au cheminement sur l'arbre des chemins possibles : du point SA, rapidement vers le point B (point A peu rentable), puis vers les points C, de préférence en passant par le point C2.**

## 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

### 5.1 LES DIFFICULTES RENCONTREES

Les principaux problèmes auxquels nous nous sommes heurtés sont les suivants :

► **Accès aux données.**

La collecte des informations disponibles s'est échelonnée sur plusieurs mois (déplacement sur les sites, rencontres de nombreux interlocuteurs). Cette phase de collecte a mis en exergue le manque de données sur le bassin versant, en particulier en ce qui concerne l'hydrologie du fleuve et, surtout, les prélèvements. Ce manque de données a dû être comblé par l'utilisation d'hypothèses fortes.

► **Précision des données et complexité des processus hydrologiques.**

La précision des résultats attendus tant au niveau de la période des hautes eaux (la superficie inondée du DIN est liée à l'importance du pic de crue du Niger), qu'au niveau de la période des basses eaux (la connaissance précise du débit d'étiage est essentielle) a imposé une analyse hydrologique poussée afin que le modèle hydraulique restitue au mieux le comportement du fleuve. A nouveau, des hypothèses fortes ont été prises pour modéliser au mieux ces phénomènes complexes, notamment au niveau du DIN.

► **Dépassement des visions nationales, dans un délais restreint.**

La prise en compte des visions nationales spécifiques indépendamment les unes des autres aurait conduit à biaiser le choix final. L'acceptation et l'appropriation du processus de vision partagée et des notions attenantes telles que les ZD et le principe d'iso-satisfaction est une démarche longue qui nécessite du temps. Parallèlement, la prise de décision pour aboutir à un PADD validé par tous se devait d'être rapide. Le travail a donc été mené dans l'urgence et dans un temps restreint qui n'a pas toujours permis une appropriation efficace et progressive par les différents gestionnaires du bassin. Cela a néanmoins en partie été rendu possible par l'efficacité d'un travail en équipe intégrée maîtrisant les différents outils ce qui a permis des allers-retours rapides entre les différents modules d'analyse des scénarios et un contact étroit avec les partenaires locaux.

### 5.2 LES PROGRES ACCOMPLIS

Les principaux aboutissements sont les suivants :

► **Acceptation du processus de vision partagée par les pays.**

Malgré les intérêts nationaux parfois divergents, le processus de la vision partagée a permis de discuter autour de la table d'une approche globale de l'aménagement du bassin versant du Niger. Cela a ainsi permis de dégager un consensus sur les priorités de développement à mettre en œuvre.

► **Acquisition d'outils d'aide à la décision par l'ABN.**

L'ABN s'est dotée, à travers les différentes études présentées, d'outils de GIRE permettant d'analyser l'impact des scénarios futurs d'aménagements du bassin du Niger et de ses affluents.

La première application pratique de ces outils d'aide à la décision a été de fournir les bases techniques à l'élaboration du PADD et du Programme d'Investissement.

L'utilisation de ces outils par l'ABN devrait permettre, dans le futur (i) d'analyser périodiquement l'impact de l'évolution des composantes hydrauliques à l'échelle du bassin (extension des surfaces irriguées, nouveaux ouvrages de stockage ou de dérivation...), (ii) d'indiquer les marges de manœuvre disponible dans le respect de la balance ressources / besoins, (iii) d'alerter en cas de déséquilibre latent de cette balance et d'anticiper les urgences et les déficits, (iv) de planifier les réalisations et (v) de gérer les ouvrages, en particulier dans le cadre des commissions de gestion de ces ouvrages (gestion de la pénurie, prévention des inondations...).

Ces outils devront être à terme délocalisés au niveau des sous bassins versants de manière à réaliser des zooms dans les endroits où la ressource est particulièrement problématique et nécessite des solutions urgentes. En définitive ces outils devront avoir un rôle central au service de la GIRE, en favorisant la concertation et la prévention des conflits d'usage.

La formation continue réalisée pendant le déroulement du projet auprès des experts de l'ABN a permis de garantir la pérennisation des outils et de leur utilisation pour satisfaire les demandes futures en matière (i) d'analyse hydrologique du bassin et de ses affluents, (ii) de planification des aménagements futurs, en particulier dans le cadre de l'étude du programme d'investissement, (iii) d'analyse de variantes ou de modification dans les schémas déjà étudiés et (iv) de gestion des ouvrages existants et plus généralement de la ressource en eau à l'échelle du bassin.

### 5.3 PERSPECTIVES

Le Conseil des ministres du 26 juillet 2007 a validé les résultats du PADD. Les ouvrages retenus, ainsi que de nombreuses autres actions de développement de la gestion de l'eau, ont été étudiés plus en détail dans le Programme d'Investissements du bassin du Niger. Ce document décrit et cadre les différents investissements à venir, en matière de GIRE sur le bassin du Niger.

L'ABN est donc entrée dans une phase de mobilisation de financement et de renforcement de capacité afin de pouvoir porter les futurs projets de GIRE sur le bassin du Niger.

Les outils techniques développés dans le cadre de cette études sont des outils évolutifs, qui devront continuer d'être améliorés utilisés, mais surtout être utilisés par les planificateurs et gestionnaires. En particulier, les outils d'optimisation de la gestion des ouvrages pourront utilement intégrer les avancées du modèle hydraulique, en y adjoignant les informations de contexte hydrologique adaptées pour une gestion efficace. De plus, l'acquisition de nouvelles mesures (au long du cours et des affluents mais également concernant le DIN), leur archivage et exploitation permettront de valider ou corriger les hypothèses retenues.

### 5.4 CONCLUSION

L'intérêt de l'expérience ici proposée réside dans l'approche itérative et intégrée des divers modules techniques utilisés dans la réflexion : les modèles hydraulique et économique ont alimenté l'élaboration du PADD, qui a fait appel non seulement à des critères de valorisation économique mais aussi sociaux, environnementaux et politiques. Les grands enjeux définis dans le PADD se sont traduits par des questions posées auxquels les différents scénarios du modèle hydraulique ont permis de répondre et dont les sorties du modèle économique ont permis de comparer l'efficacité.

De gros efforts de concertation et d'échanges mutuels entre les divers partenaires des états membres et les chargés d'études ont permis une appropriation et un partage de la démarche dans un délai limité.

L'approche novatrice par les principes retenus, tant dans les choix de priorisation des besoins que dans la définition de zones de développement au bénéfice d'une gestion transfrontalière, a permis de repositionner le cadre de décision des options d'aménagement à l'échelle du bassin versant dans son ensemble.

## 6. REFERENCES

ABN, BRLi, Janvier 2007. *Evaluation des prélèvements et des besoins en eau pour le Modèle de simulation du bassin du Niger.*

ABN, BRLi, DHV, Juillet 2007. *Elaboration du Plan d'Action de Développement Durable du Bassin du Niger. Phase II : Schéma directeur d'aménagement et de gestion.*

ABN, BRLi, DHV, Juillet 2007. *Elaboration du Plan d'Action de Développement Durable du Bassin du Niger. Phase I : Bilan – Diagnostic.*

ABN, BRLi, DHI, Juillet 2007. *Elaboration du Modèle de Gestion du Bassin du Niger. Rapport intermédiaire – R4.*

ABN, BRLi, DHV, Décembre 2007. *Etude d'élaboration du programme d'investissement et de formulation des projets d'investissement nécessaires à la mise en œuvre de la vision partagée.*

ABN, BRLi, DHI, mars 2008. *Etablissement du Modèle de Gestion du Bassin du Niger. Avenant d'élaboration du module économique.*