

Les périmètres irrigués au Burkina Faso et
leur vulnérabilité aux risques d'inondations.

Arthur Demonfaucon
arthur.demonfaucon@engref.agroparistech.fr
Mars 2011

AgroParisTech-ENGREF
Centre de Montpellier
648 rue Jean-François Breton – BP 44494
34093 MONTPELLIER CEDEX 5
Tél. : (33) 4 67 04 71 00
Fax : (33) 4 67 04 71 01
www.agroparistech.fr

IWMI
s/c CILSS
03 BP 7049 OUAGADOUGOU 03
Burkina Faso
Tél : +226 50 37 41 25
Fax : +226 50 37 41 32

Résumé :

Bien que le Burkina Faso soit un pays au climat Soudano-sahélien (la saison sèche s'étant d'octobre à juin), l'agriculture étant encore très majoritairement pluviale. Ainsi, la production agricole est très vulnérable à la variabilité climatique et les années sèches impliquent de coûteuses importations. Le développement de l'agriculture irriguée est donc un enjeu important pour la sécurité alimentaire du pays. Cependant, il apparaît que les systèmes d'irrigation sont eux-même très vulnérables aux aléas climatiques : de nombreuses ruptures de barrages et destructions de périmètres irrigués ont été observées récemment lors d'inondations. Ce travail de synthèse nous a permis d'identifier plusieurs causes à ces défaillances : des défauts de conception liés à la vétusté des normes utilisées et aux manques de moyens, des défauts de réalisation, un manque d'entretien des infrastructures, mais également l'évolution des contraintes auxquelles sont soumis les ouvrages. En effet, l'extension des surfaces cultivées (en réponse à la dynamique démographique et aux défauts de pluviométrie) et les nombreuses sécheresses ont modifié le fonctionnement hydrologique de nombreux bassins versants de sorte que, malgré des cumuls de pluies moins importants, les crues sont plus violentes que par le passé. A plus long terme, le changement climatique pourrait aussi augmenter la variabilité climatique en concentrant la saison des pluies. Cependant, les investissements dans les systèmes d'irrigation restent pertinents pour peu que leur conception soit basée sur de nouvelles normes hydrologiques et que la maintenance des ouvrages soit mieux intégrée. Le cadre multi-usage des petits barrages est également un point à intégrer aux études.

Abstract :

While Burkina Faso is a country in the Sudano-Sahelian climate (dry season stretching from October to June), agriculture is still overwhelmingly rainfed. Thus, the agricultural production is highly vulnerable to climate variability and dry years imply expensive imports. The development of irrigated agriculture is an important issue for the country's food security. However, it appears that irrigation systems are themselves highly vulnerable to climatic hazards: numerous dam failures and destruction of irrigated areas have been observed recently during floods. This synthesis has identified several causes for these failures: design flaws related to outdated standards and a lack of means, building defects, lack of infrastructure maintenance, but also the changing constraints faced by the works. Indeed, the expansion of cultivated areas (in response to population dynamics and shortage of rainfall) and numerous droughts have altered the hydrological functioning of many watersheds so that, despite lower cumulative rainfall, floods are more violent than in the past. In the longer term, climate change could also increase climate variability by concentrating the rainy season. However, investments in irrigation systems remain relevant as long as their design is based on new hydrological standards and as long as maintenance of infrastructure is better integrated. The versatility of small dams is also a point to include in the studies.

Mots clés :

Irrigation ; Inondations ; Vulnérabilité ; Petits barrages ; Burkina Faso ; Crues ; Normes hydrologiques ; Occupation des sols ; Variabilité climatique ; Changement climatique ; Sécheresse.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
ÉTAT DES LIEUX DES SYSTÈMES D'IRRIGATION AU BURKINA FASO.....	2
TYPOLOGIE DES SYSTÈMES ET ETENDUE DU PATRIMOINE.....	2
Différents types de périmètres irrigués.....	2
Un Atlas des petits barrages du Burkina Faso.....	6
ÉTAT DES INFRASTRUCTURES, CONSTATS DE DÉGÂTS ET DESTRUCTIONS.....	7
Un manque d'information patent.....	7
Les statistiques de rupture.....	7
Les différents dégâts observés.....	8
Les épisodes de 2009 et 2010 : exemple des réhabilitations de Catholic Relief Services.....	9
CAUSES DES DÉGÂTS SUBIS PAR LES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES ET VULNÉRABILITÉS DES OUVRAGES EXISTANTS.....	10
CAUSES ORIGINELLES.....	10
Des défauts de conception et de réalisation généralisés dans la petite hydraulique... ..	10
Actualisation des normes hydrologiques.....	11
Manque de données.....	12
DÉGRADATION DES OUVRAGES ET EVOLUTION DES CONTRAINTES.....	13
Gestion de l'eau et maintenance.....	13
Altération des sols et évolution des coefficients de ruissellement.....	14
Evolution de la variabilité climatique.....	15
FACTEURS DE BAISSSE DE L'EFFICACITÉ DES SYSTÈMES D'IRRIGATION.....	16
Sédimentation des retenues.....	16
Augmentation de l'évaporation.....	16
ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES SYSTÈMES D'IRRIGATION BURKINABÉS ET PERTINENCE DE NOUVEAUX INVESTISSEMENTS.....	18
ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES DIFFÉRENTS TYPES DE PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS.....	18
Coût d'aménagement, coûts d'exploitation, et productivité.....	18
Des performances sous-optimales.....	19
BÉNÉFICES ET PERTES ASSOCIÉS À LA PRÉSENCE OU NON D'UN PETIT BARRAGE.....	19
Des aménagements multi-usages.....	19
Jeux de pouvoirs autour des retenues, danger sanitaires, et impacts environnementaux.....	19
RISQUE SUR LES OUVRAGES ET PERTINENCE DES INVESTISSEMENTS.....	20
Risque de rupture ou de dégâts des aménagements.....	20
Efficacité et valeurs à moyen et long terme.....	20
CONCLUSION.....	21
BIBLIOGRAPHIE :	22
ANNEXE 1 : CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE, CLIMATIQUE ET INSTITUTIONNEL.....	24
Des conditions géologiques et climatiques défavorables à l'agriculture.....	24
Un pays plat sans grand fleuve, propice à la petite hydraulique.....	25
Une Gestion intégrée en cours d'implémentation dans un contexte de tension sur la ressource.....	26
ANNEXE 2 : COMPTES D'EXPLOITATION D'UN HA DE RIZ POUR DIFFÉRENTS TYPES DE PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS.....	28
ANNEXE 3 : GRILLE D'ANALYSE POUR LES PETITS BARRAGES.....	30

INTRODUCTION

Le Burkina Faso est un pays enclavé d'Afrique de l'Ouest qui, malgré les progrès économiques récents, reste l'un des pays les plus pauvres d'Afrique : Le produit intérieur brut (PIB) est de 314 dollars EU/habitant par an (2003) et l'espérance de vie est de 43 ans. Le secteur agricole emploie 92% de la population et représente 31% du PIB. Sur 1.3 million d'exploitations, 87% pratiquent une agriculture de subsistance et/ou un élevage extensif marqué par une faible productivité. Celle-ci est par ailleurs fortement dépendante des précipitations puisque l'agriculture est très majoritairement pluviale.

Ainsi, les importations de denrées agricoles varient selon les années, au gré des précipitations. L'approvisionnement en nourriture du pays est donc à la fois dépendant des précipitations (dont la variabilité est importante en zone sahélienne), et des marchés (la flambée des prix agricoles de 2008 n'a pas été sans conséquences).

Il y a ainsi une réelle nécessité de stabiliser la production du pays, en sécurisant les apports en eau. De ce point de vue, le Burkina Faso se trouve dans une situation originale car le pays est relativement plat et n'est pas traversé par de grands fleuves comme les pays voisins. Ce sont donc des centaines de « petits barrages » qui stockent l'eau de la saison des pluies pour la saison sèche. Dans l'étude des risques associés aux inondations pour les périmètres irrigués, nous serons donc souvent amené à considérer les risques pesant sur les petits barrages. Au Burkina Faso, la majorité des périmètres irrigués sont situés à l'aval de retenues (ou à l'amont, de manière plus informelle). Si les grandes sécheresses des années 70 et 80 ont accéléré le développement de l'irrigation, celle-ci reste encore marginale à l'échelle du pays : elle ne concernait que 1,1% des surfaces cultivées en 2001.

Dans un contexte de relance de l'irrigation, et malgré un fort attrait des populations locales pour ces aménagements, la pertinence de nouveaux projets est cependant remise en cause. Au delà de la faible rentabilité économique des projets, de nombreuses inquiétudes planent sur la pérennité des aménagements. En effet, plusieurs facteurs semblent pouvoir entraver le fonctionnement des ouvrages existants, au premier rang desquels la vulnérabilité aux inondations. En 2009 et 2010, plusieurs retenues ont cédé lors de fortes pluies. Mais au delà des inondations, la sédimentation des retenues pourraient également faire baisser l'efficacité des systèmes d'irrigation à moyen terme. Enfin, le réchauffement climatique, en augmentant l'évaporation de l'eau stockée, diminue aussi l'efficacité de ces aménagements.

Le but de cette synthèse est donc de :

- Identifier et documenter les origines des ruptures et dégâts observés ces dernières années,
- Faire un point, de manière plus générale, sur les différents facteurs menaçant la pérennité des périmètres irrigués du Burkina Faso,
- Evaluer la pertinence de nouveaux aménagements.

Pour ce faire, nous commencerons dans une première partie par décrire le contexte patrimonial de l'irrigation au Burkina Faso (si besoin, le contexte géographique, climatique, et institutionnel figure en annexe 1). Ensuite, nous étudierons l'influence de différents facteurs, tels que la vulnérabilité aux inondations ou la sédimentation des retenues, sur l'efficacité des systèmes existants. Enfin, nous discuterons de l'efficience des périmètres irrigués existants, et de la pertinence de nouveaux aménagements.

ÉTAT DES LIEUX DES SYSTÈMES D'IRRIGATION AU BURKINA FASO



Le Burkina Faso est un pays au climat soudano-sahélien, qui doit donc faire face à une longue saison sèche. Avec les grandes sécheresses, des centaines de petits barrages ont été érigés et l'irrigation a progressé pour faire face à la variabilité climatique. Nous décrivons ici l'étendue et l'état de ce patrimoine.

TYPOLOGIE DES SYSTÈMES ET ETENDUE DU PATRIMOINE

Pour décrire le patrimoine des aménagements d'irrigation, il est utile de définir une typologie. Dans le cas du Burkina Faso il en existe plusieurs, qui ont été adoptés par différentes institutions au fil des ans :

- la typologie du CILSS (Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) en 5 catégories -les grands périmètres, les périmètres moyen, l'irrigation informelle ou privée, les périmètres maraîchers, et les aménagements de bas-fonds- repris par la FAO (Food and Agriculture Organisation)(FAO AquaStat, 2005),
- la typologie APPIA (Amélioration de la Performance des Périmètres Irrigués en Afrique) en 9 catégories, développée pour être commune à tout l'Ouest Africain (ARID, 2004),
- la typologie du Ministère de L'Agriculture et de l'Hydraulique, utilisée dans son rapport sur la Stratégie de Développement de l'Irrigation, identique à celle du CILSS hormis le fait que « périmètres maraîchers » et « irrigation informelle ou privée » sont regroupés en une seule catégorie « petite irrigation » (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2003).

En réalité, la majorité des rapports utilisent la catégorie « petite irrigation » au moment de chiffrer les surfaces aménagées car très peu de données sont assez fines pour discriminer les périmètres maraîchers de l'irrigation informelle ou privée.

Différents types de périmètres irrigués

Les périmètres irrigués sont des surfaces aménagées pour la culture irriguée. Comme nous le disions en introduction, la majorité des périmètres irrigués du Burkina Faso se trouvent à proximité de retenues d'eau (en aval ou en amont). Le schéma d'un aménagement typique, celui du barrage de Mogtedo (une centaine de km à l'est de Ouagadougou), se trouve en Figure 1. Les périmètres peuvent aussi prendre leur eau dans des cours d'eau (pérennes de préférence). Nous les distinguons en fonction de leur taille :

1. Les grands périmètres (au total 12 000 ha) : il s'agit généralement de périmètres de taille supérieure à 400 ha. En maîtrise totale de l'eau, la culture est principalement rizicole mais l'on trouve également du maïs, du blé, du sorgho, et du soja. Les coûts d'aménagement étant élevés (de l'ordre de 10 millions de FCFA), l'investissement est pris en compte par l'état et les bailleurs de fonds. Le type d'exhaure diffère selon les périmètres.
2. Les périmètres moyens (au total 3000 ha) : Il s'agit des périmètres de taille plus modeste (50 ha en moyenne) situés à l'aval de barrages. L'irrigation y est gravitaire et les exploitations sont familiales (0.10 à 0.25 ha). La culture est rizicole ou maraîchère dans la plupart des cas.
3. La petite irrigation (au total 4500 ha) : On regroupe dans cette catégorie la petite irrigation

villageoise, pour la culture du riz, du maïs ou du niébé, et la petite irrigation individuelle pour le maraîchage et l'arboriculture. Les périmètres villageois ont des superficies de l'ordre de l'hectare tandis que les petits périmètres individuels concernent des parcelles de moins d'1ha, généralement de quelques ares. Ces derniers sont souvent implantés autour de lac ou de retenues, et à proximité des grandes villes. D'après le rapport APPIA, le maraîchage est majoritaire et la petite irrigation villageoise ne concerne que 500 ha sur 4500.

4. Les bas-fonds (entre 6000 et 30000 ha selon que les aménagements traditionnels sont comptabilisés ou non): La caractérisation de ces surfaces cultivées est souvent difficile tant les aménagements sont sommaires. Au sud de l'isohyète 1000 mm en particulier, ces aménagements ne comportent souvent que quelques diguettes en courbe de niveau. Il s'agit alors de *bas-fonds simples* ou de *bas-fonds traditionnels* (sans maîtrise de l'eau), essentiellement présents dans le bassin de la Comoé. Au nord de l'isohyète, les bas-fonds sont le plus souvent aménagés avec des diguettes en courbe de niveau mais aussi un seuil de retenue, il s'agit de *bas-fonds améliorés*.

Type	Sous-catégorie	Surfaces concernées Données APPIA (2004) (ha)	Surface concernées Données FAO (2001) (ha)	Surface concernées Données Ministère (2004) (ha)
Grands périmètres irrigués	Bagré	1600	1885	-
	Douna	450	450	-
	Banzon	585	585	-
	Karfiguela	375	375	-
	Vallée du Kou	1200	1400	-
	Sourou	2090	3200	-
	Sous-sous-total	6300	7895	8158
	Banfora (sucrier)	3900	3900	3900
	Sous-Total	10200	11795	12058
Périmètres moyens (aval barrage)	-	3000	2805	3000
Petits périmètres	maraîchage	4000	-	-
	PP Villageois	500	-	-
	Sous-Total	4500	4000	4500
Bas-fonds	Traditionnels (sans maîtrise)	-	21400	21000
	simples	1000		1000
	améliorés	5000	6400	5000
	Sous-Total (sans trad.)	5000	27800	6000
Total surfaces aménagées	-	22700	46400	25558

Il est à noter que les surfaces aménagées restent marginales par rapport aux surfaces cultivées, et faibles par rapport aux surfaces aménageables. Le Ministère de L'Agriculture et de l'Hydraulique estime ainsi à seulement 16,22% le taux d'aménagement des surfaces irrigables (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2003).

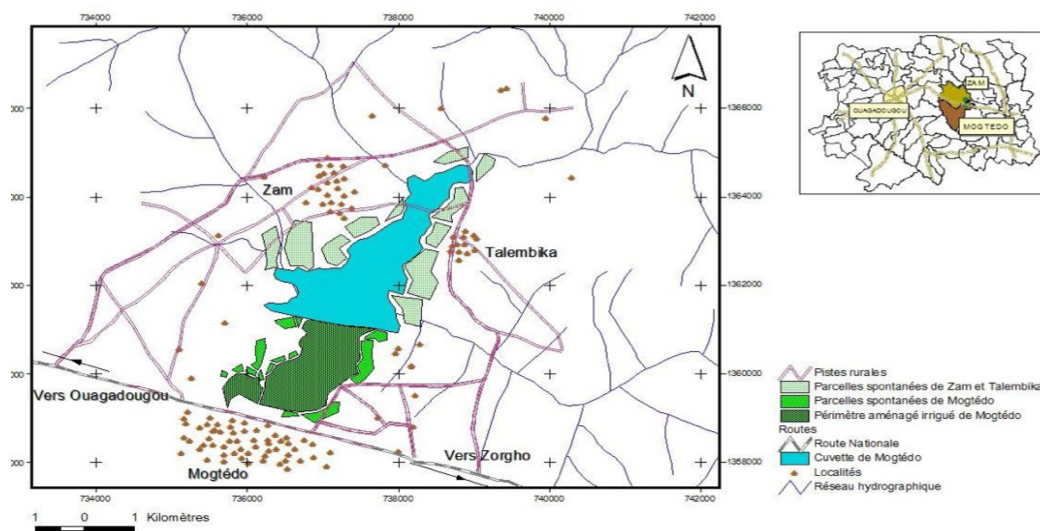


Figure 1 : Schéma des aménagements du barrage de Mogtédou. Des périmètres irrigués sont situés en aval, et en amont de la retenue. Nous distinguons les périmètres aménagés (vert foncé) des périmètres informels (gris et vert clair), In *Etude Diagnostique de la Gestion du barrage de Mogtédou*, Projet WAIPRO, 2010.

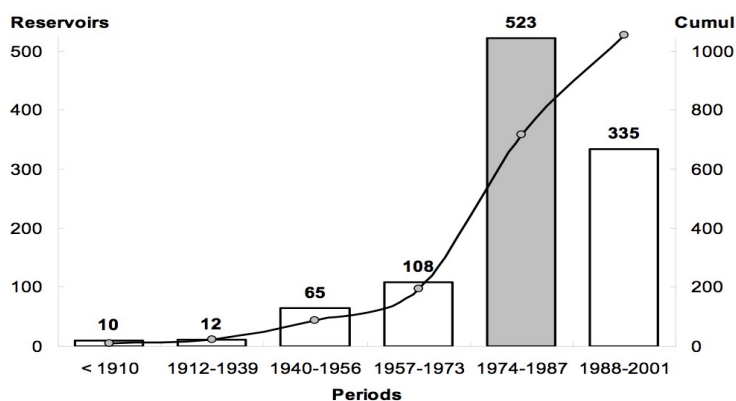


Figure 2 : Evolution du nombre de réservoirs au Burkina Faso. Base de données DGRE 2001, In Cecchi et al., 2009.

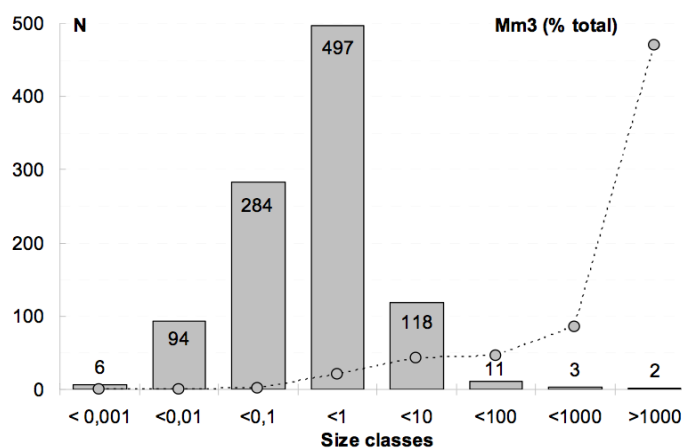


Figure 3 : Répartition des tailles des réservoirs au Burkina Faso. Base de données DGRE 2001, In Cecchi et al., 2009.

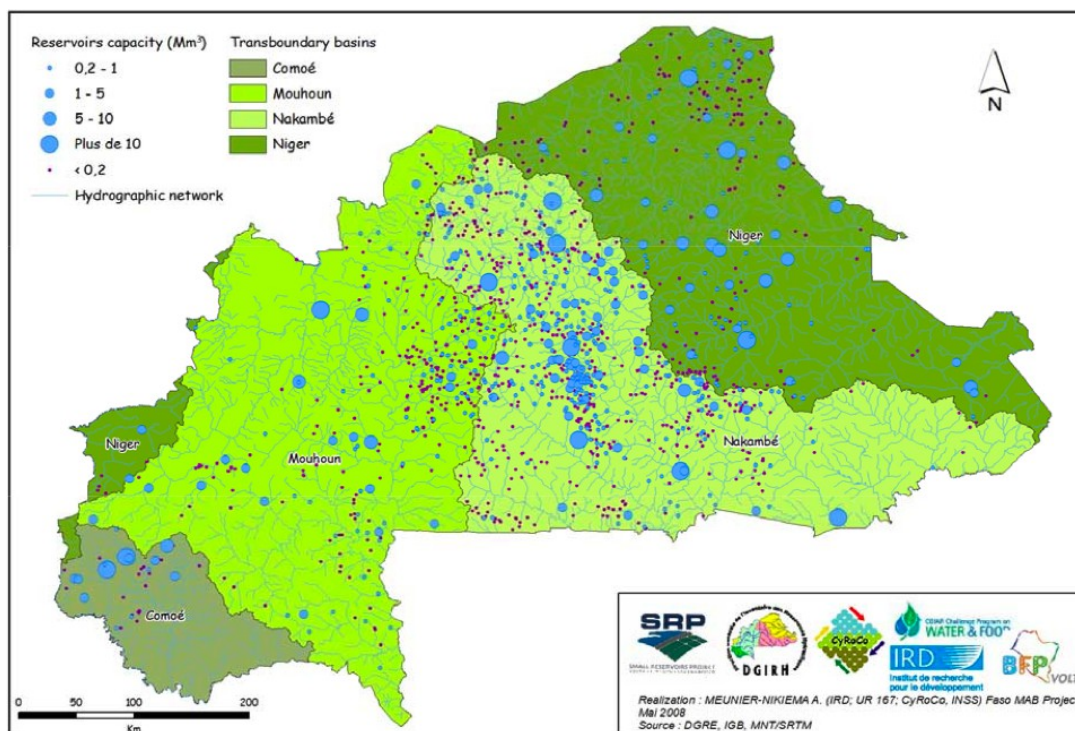


Figure 4 : Bassins versants et volume des réservoirs. Base de données DGRE 2001, In Cecchi et al., 2009.

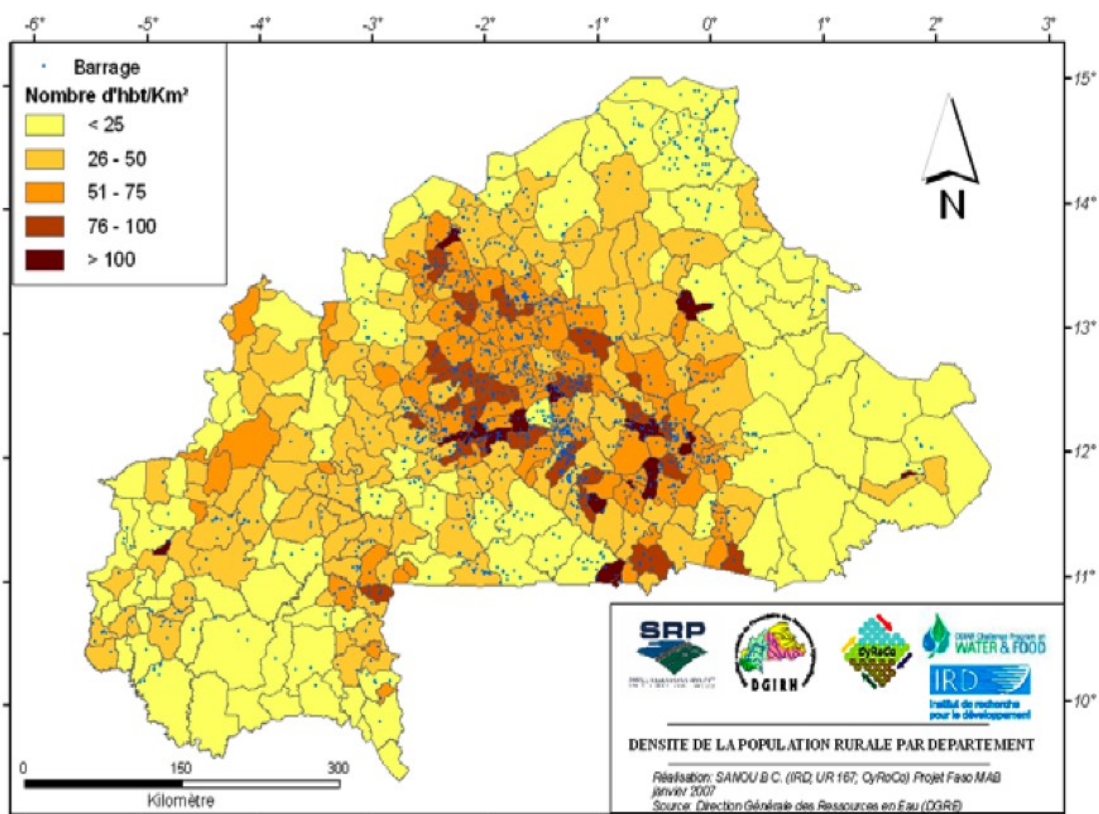


Figure 5 : Densité de population et nombres de réservoirs. Base de données DGRE 2001, In Cecchi et al., 2009.

Un Atlas des petits barrages du Burkina Faso

Dans les bassins dont la plupart des cours d'eau sont temporaires (Nakanbé, Niger), l'eau des périmètres irrigués provient de barrages, lac, ou réservoirs divers. C'est également le cas au nord de l'isohyète 1000 mm dans les bassins dont certains cours d'eau sont pérennes (Comoé, Mouhoun) . A l'inverse, toutes les retenues n'ont pas d'usage agricole. Cependant la première demande en eau reste l'irrigation avec 64% (Programme GIRE, 2001), et la localisation des barrages et réservoirs permet donc, dans une certaine mesure, d'éclairer la répartition spatiale des périmètres irrigués.

Récemment, le Small Reservoirs Project (SRP - <http://www.smallreservoirs.org/>) dans le cadre du Challenge Programme Water and Food (CPWF) a développé une base de données et un Système d'Information Géographique (SIG) compilant des données diverses (Cecchi et al, 2009) : administrative, hydrographique, eaux souterraines, topographie, accès à l'eau, occupation des sols, et bien sûr eaux de surface, avec la base de données de la Banque Africaine de Développement (BAD) des lacs et réservoirs de la Direction Générale des Ressources en Eaux (DGRE) (inventaire effectué en 2001). Malheureusement, les données agricoles n'ont pas été intégrées. L'identification de retenues par télédétection a également été utilisée, à partir d'image Landsat en 1992 et 2002. Cependant, il semble que ces images aient été prises lors de la saison sèche, lorsque nombre des retenues de petite capacité étaient à sec, et l'interprétation est donc difficile.

Les Figures 4 et 5 montrent la localisation des barrages et réservoirs par rapport aux différents bassins versants, et par rapport aux densités de population. La première constatation est que le bassin du Nakanbé concentre le plus grand nombre d'ouvrages. Plusieurs facteurs expliquent cela. Tout d'abord, le bassin du Nakanbé détient la plus forte densité de population du pays (53 hts/km²). Ensuite, les ressources en eau y sont très limitées : les cours d'eau n'y sont pas pérennes, et les eaux souterraines sont déjà surexploitées. Enfin, une autre explication développée dans le cadre du SRP, est qu'une élite politique issue de population de langue Mooré, tend à favoriser les projets de développement sur les territoires de l'ancien royaume Moogo (Cecchi et al, 2009).

La base de données de la DGRE contient pour de nombreux ouvrages (1450 références), outre les informations de localisation, des données de surface, de volume (pour 1015 références), et de date de constructions (pour 1053 références). La Figure 2 montre l'évolution du nombre barrages construits depuis le début du 20^{ème} siècle. Nous pouvons noter que la moitié de ces barrages ont été construits entre les années 1974 et 1987, pendant et juste après les grandes sécheresses. La Figure 3 montre la proportion des différentes tailles de retenues : alors que les 2 plus grandes retenues représentent 60% des volumes, les 900 plus petites (inférieure à 1 millions de m³) ne compte que pour 4%. La situation du Burkina Faso se distingue donc de celle de ces voisins : ne disposant pas d'un relief prononcé et des bénéfices d'un grand fleuve comme le Niger, le Burkina Faso a développé un réseau de « petits barrages » unique, et de nombreux aménagements de petite irrigation dans les bas-fonds et autour des petites retenues. Si les petits barrages ne représentent que 5 à 10% des volumes d'eau retenue, ils ont une grande importance dans le développement de l'irrigation car ils stockent l'eau de la moitié des surfaces irriguées (avec la petite irrigation, les périmètres moyens, et les bas-fonds améliorés).

ÉTAT DES INFRASTRUCTURES, CONSTATS DE DÉGÂTS ET DESTRUCTIONS

Comme nous l'indiquions en introduction, le développement de l'irrigation est un enjeu majeur pour le Burkina Faso, qui souffre encore beaucoup de la variabilité climatique, du fait de la prépondérance de l'agriculture pluviale. Cependant, malgré cette nécessité, des inquiétudes sont formulées quant à la pertinence d'investissements dans les petits barrages et l'irrigation.

Quand il ne s'agit pas d'arguments économiques pointant du doigt la faible rentabilité des projets, ces inquiétudes ont souvent pour origine les dégâts et destructions enregistrés régulièrement sur les ouvrages existants. Ce sont d'ailleurs les inondations récentes de 2009 et 2010, et leurs conséquences sur les aménagements hydro-agricoles, qui sont à l'origine de ce travail de synthèse.

Un manque d'information patent

Lorsque nous avons commencé cette étude, un des premiers objectifs a été de savoir combien de ruptures de barrages avaient été enregistrées, quelle surface de périmètres irrigués avait été endommagée, etc. Il apparaît aujourd'hui que personne n'a cette information, pas même les services en charge de l'hydraulique au Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Localement, les ONG et institutions concernées ont l'information, mais il semble que personne ne les ait collectées au niveau national. Par le passé, ce travail avait été fait pour les épisodes de 1992 et 1994, publié dans une étude de A. Nombé en 1995.

Les statistiques de rupture

Dans son État des lieux sur les ressources en Eau, publié en 2001, le Ministère de l'Environnement cite cette étude, et indique que des dizaines de ruptures ont été observées en 1992 et 1994 (Programme GIRE, 2001). Pour certains barrages particuliers, les causes de ruptures ont été identifiées : la submersion de la digue pour 70% des cas, l'érosion régressive dans l'évacuateur de crue pour 20% des cas, et des phénomènes de renard dans les digues pour 10 % des cas. Ces ruptures concernent davantage les petits barrages : le plus grand barrage dont la rupture a été enregistrée lors de l'étude de A. Nombé avait une capacité de 7,8 millions de m³, et la moyenne du volume des retenues qui ont cédé est de 916 10³ m³.

En 2007, dans son Plan d'Action National d'Adaptation à la Variabilité et aux changements climatiques (Ministère de l'Environnement, 2007), le Ministère de l'Environnement donne un nouvel aperçu des dégâts causés par les inondations en 1988, 1992, 1994, et 1999, mais les statistiques de ruptures de barrages ne figurent que pour 1992 et 1994.

Année	Nombre de Sans-abris	Nombre de décès	Nombre de blessés	Nombre de maisons éboulées	Superficie inondée (ha)	Nombres de barrages détruits
1988	23324	16	-	1144	-	-
1992	5485	6	-	3133	-	14
1994	74080	22	4	21000	106164	18
1999	51342	6	18	2188	-	-
Totaux	154231	50	>22	27465	-	>32

Dans ce même document, le Ministère de l'Environnement chiffre à 3 606 000 \$US en 1992 et à 127 875 000 \$US en 1994, les pertes en production agricole. La réhabilitation des barrages endommagés est quant à elle estimée à 385 553 \$US en 1994.

Les différents dégâts observés

Au delà des ruptures, l'état des barrages, âgés de 30 ou 40 ans pour la majorité d'entre eux, est préoccupant. En effet, ces petits barrages sont fait de terre compactée et sont susceptibles de se dégrader avec le temps, notamment à cause de l'érosion. Les responsables du département des ressources hydrauliques semblent estimer que la proportion d'ouvrages dégradés est d'environ 60% (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2010). Les dégradations observées sont résumées dans le tableau suivant :

Ouvrages	Type de dégradations constatés
Digue	- Fuite d'eau en aval au pied de la digue - Érosion accentuée avec menace de rupture - Rupture partielle ou totale - Détérioration subite des protections amont et aval - Détérioration subite des murs de crête
Déversoir	- Détérioration totale ou partielle - Dégradation des murs bajoyers ou des rampes d'accès - Dégradation des protections
Bassin de dissipation	- Fissurations préjudiciables - Dégradations des protections - Dégradations du chenal d'évacuation
Cuvette	- Ensablement - Comblement - Dégradation des berges - Pollution

Les dégradations concernent le plus souvent la digue (80% des cas), mais également les digues de protection du périmètre contre les inondations, et les canaux. Concernant les périmètres irrigués, il est courant que les canaux soient détériorés, cassés, ou ensablés, et les digues de protection manquent d'entretien et ne remplissent pas toujours leur fonction. Par ailleurs, les ruptures de barrages s'accompagnent la plupart du temps de la destruction des digues et des périmètres situés à l'aval.



Figure 6 : Rupture de barrage dans la région de Koubri lors de la crue du 11 Juillet 2009. Crédit : N. Augis (IRD), In Cecchi, 2006.

Les épisodes de 2009 et 2010 : exemple des réhabilitations de Catholic Relief Services

En l'absence de données agrégées au niveau national pour les épisodes de 2009 et 2010, nous avons cherché à contacter les institutions investies localement dans le développement de l'agriculture irriguée. Catholic Relief Services fait partie de ces institutions, et soutient des aménagements de périmètres maraîchers à Tougouri et Zeguedeguin dans la province de Namentenga, et à Silmidougou dans la province du Sanmatenga, et des périmètres rizicoles à Tougouri (Namentenga), et à Dakiri et Mani dans la province de la Gnagna.

Alors que les périmètres maraîchers situés en amont, autour des retenues, n'ont pas subi de dégâts, les périmètres rizicoles situés en aval des barrages ont été endommagés en 2009 et en 2010 :

- A Tougouri, la digue du barrage a cédé sous la pression des eaux, et c'est ce qui a entraîné les dégâts sur les périmètres situés à l'aval. La digue a été reconstruite provisoirement pour retenir une partie des dernières pluies.
- A Dakiri, la digue du barrage a été fortement endommagée et les populations l'ont renforcée avec des sacs de sable.

Sur tous les périmètres, c'est la cassure des digues de protection qui a permis à l'eau d'envahir les périmètres, en 2009 comme en 2010. Il est important de noter que tous les périmètres réhabilités suite aux inondations du 1er septembre 2009 et situés en aval ont été endommagés à nouveau par les pluies diluviennes des 21 et 22 juillet 2010.

Des conséquences dramatiques pour la production et pour les populations

Outre les cas de ruptures de digues et de destructions de récoltes lors de l'envahissement des périmètres par les eaux, la détérioration des infrastructures handicape significativement la productivité des systèmes d'irrigation. Par exemple, les détériorations sur la digue principale ou le déversoir conduisent à une baisse du volume d'eau stockée. De même, les détériorations des systèmes d'adduction d'eau vers les périmètres pénalisent les agriculteurs.

Lorsque les périmètres à l'aval des retenues ne sont plus fonctionnels, ce qui est fréquent, les populations et les agriculteurs se replient sur les abords du lac de retenues. Ce faisant, ils accélèrent la sédimentation de la retenue et une baisse du volume d'eau stockée. La coopération suédoise, engagée dans la réhabilitation de petits barrages, estime que la diminution du volume d'eau stockée et les dégradations des périmètres aval peuvent entraîner des baisses de production allant de 40 à 60%.

La réhabilitation et le développement des aménagements hydro-agricoles est donc un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté des populations rurales. Au delà des considérations agricoles, ces barrages ont de multiples usages pour les populations locales : alimentation en eau potable, abreuvement des troupeaux, pêche, eaux domestiques (cf. Suite).

CAUSES DES DÉGÂTS SUBIS PAR LES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRIQUES ET VULNÉRABILITÉS DES OUVRAGES EXISTANTS



Figure 7 : Rupture de barrage de Toumour dans lors de la crue du 11 Juillet 2009. crédit : Catholic Relief Services.

Dans la partie précédente, nous avons décrit, dans la mesure du possible, les dommages subis par les petits barrages et les périmètres irrigués. Il convient maintenant d'en examiner les causes, pour évaluer la vulnérabilité des ouvrages existants. De manière générale, les dégâts et destructions d'infrastructures s'expliquent par : des défauts de conception, des défauts de réalisation, le manque d'entretien, et l'évolution des contraintes auxquelles les ouvrages sont soumis. Nous verrons que dans le cas des infrastructures hydro-agricoles du Burkina Faso, ces différents facteurs de vulnérabilité s'accumulent.

Enfin, nous étudions d'autres facteurs susceptibles d'altérer l'efficacité des systèmes, tels que la sédimentation des retenues et l'augmentation de l'évaporation.

CAUSES ORIGINELLES

Des défauts de conception et de réalisation généralisés dans la petite hydraulique

L'origine de beaucoup des problèmes techniques auxquels font face aujourd'hui les infrastructures hydrauliques, remonte aux conditions de leur édification. En effet, dans l'urgence des grandes sécheresses des années 70 et 80, beaucoup de retenues ont été financées par des associations de bonne volonté, mais réalisées sans études adéquates et sans suivi-contrôle approprié. Comme la construction de ces ouvrages n'était soumise à aucune autorisation, les normes de conception et de réalisation n'ont pas toujours été satisfaites. Le problème principal concerne souvent la digue, car en cas de rupture, les périmètres et leurs digues de protection sont détruits dans la majorité des cas.

La volonté de réduire exagérément les coûts de projet a souvent été à l'origine d'études hydrologiques insuffisantes puis de digues de protection trop modestes.

Aujourd'hui, ces défauts sont bien connus, des autorités comme des différents acteurs. Ainsi, contacté au sujet de la vulnérabilité des périmètres irrigués aux inondations et à propos des ruptures récentes de digues, Roger Tremey, Ingénieur engagé au sein de l'association Hydraulique Sans Frontières, affirme :

« Le constat est récurrent. De nombreuses digues ou petits barrages sont réalisés, sans études sérieuses, pour des raisons financières ou parce que les non avertis pensent qu'il suffit d' élever un massif de terre pour réaliser une retenue. »

Le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, dans son rapport sur la stratégie de développement de l'irrigation, nuance l'état des défauts de conception en fonction des types d'ouvrages :

Type d'irrigation	Caractéristiques de conception, vulnérabilité aux inondations
Grands périmètres	- Pas de normes ni de directives nationales - Conçus et réalisés par l'expertise étrangère - Sous-dimensionnement du barrage de Bagré
Périmètres moyens	- Qualité des ouvrages et infrastructures est plus ou moins acceptable dans l'ensemble. - Confrontés à de nombreuses difficultés techniques notamment la protection contre les crues et les eaux sauvages. - Conçus et réalisés essentiellement par l'expertise nationale, souvent appuyée par l'expertise étrangère.
Petite irrigation	- En général la conception de ces périmètres est assez sommaire et déficiente tant dans le choix des équipements que dans la conception des systèmes d'irrigation (pas de mention spécifique de l'aspect protection contre les inondation ou dimensionnement de retenue) - Conçus par leurs promoteurs avec l'aide de techniciens pour les grosses exploitations et sur le tas par reproduction des techniques acquises dans le cadre de l'exploitation des périmètres mis en place par l'Etat ou les ONG
Bas-fonds	- Nombreuses difficultés de conception entraînent des dysfonctionnements importants dans les bas-fonds avec les ruptures de seuils ou de diguettes - Essentiellement financés sur fonds publics et par les ONG.

Il est à noter que la prise de conscience des défauts de conception a conduit à des progrès dans le domaine. Une des propositions du rapport sur la stratégie de développement l'irrigation est d'« Elaborer les guides et directives pour la conception et la réalisation des aménagements dans la petite irrigation et mettre en place un système de contrôle de qualité des équipements ». De même, un système d'appui à la conception pour les promoteurs de l'irrigation privée devrait être mis en place.

Au delà de la conception, la réalisation peut également être déficiente lorsque les matériaux utilisés ne sont pas satisfaisants ou lorsque la terre n'est pas bien compactée, par exemple. En outre, le manque d'expérience et parfois l'incapacité des entreprises chargées de la réalisation "auraient contribuer à obtenir de mauvais ouvrages" (Ministère de l'Agriculture, 2010).

Actualisation des normes hydrologiques

Cependant même lorsque les études sont faites sérieusement, le dimensionnement des ouvrages peut s'avérer insuffisant. L'exemple de la mise en sécurité du barrage de Bagré l'illustre bien. En 1994, soit 2 ans après sa mise en eau, cet ouvrage d'une capacité de 1,7 milliard de m³ a connu le passage d'une crue supérieure à sa crue de projet initiale. Si la cote des Plus Hautes Eaux Estimées n'a pas été atteinte, c'est parce que la crue est arrivée sur un plan d'eau inférieure à la cote normale d'exploitation. Il a logiquement été décidé de mettre en sécurité le barrage en relevant le niveau de la crue de projet. Les travaux se sont achevés en juillet 2007, et ont consisté à porter le débit maximal évacué de 1660 à 4064 m³/s (le débit de pointe de la crue de 1994 a été estimé à 2050 m³/s (Paturel et al, 2003)).

Il apparaît donc que la crue de projet n'avait pas la période de retour voulu (T=10 000 ans), mais il ne s'agit pas là d'une erreur de calcul du bureau d'étude en charge de la calculer : l'origine du défaut de conception vient de la vétusté des normes hydrologiques utilisées. En effet, les grandes sécheresses qu'ont connu le Burkina Faso et d'autres pays d'Afrique de l'Ouest étaient si

importantes qu'elles ont amené les hydrologues à se demander comment intégrer ces nouvelles chroniques aux anciennes.

De manière schématique, les décennies 50 et 60 ont été très excédentaires, les décennies 70 et 80 ont été très déficitaires, et la décennie 90 a été déficitaire. La Figure 8 montre l'hydraulicité (rapport du débit annuel sur le débit moyen inter-annuel), des cours d'eau d'Afrique de l'Ouest sur la période 50-90. En 2000, la question telle qu'elle est formulée dans Paturel et al. (2003), est de savoir s'il faut considérer la période 51-97, ou la période 71-97. Les calculs montrent que les différences entre les normes issues de ces deux hypothèses sont significatives.

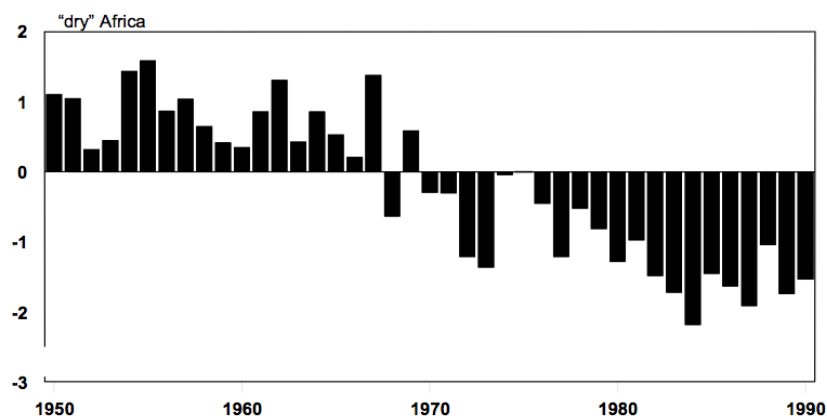


Figure 8 : Hydraulicité des cours d'eau d'Afrique de l'Ouest. In Paturel, 2003.

Cet enjeu d'évolution des normes n'était d'ailleurs pas inconnu au moment de la conception du barrage de Bagré. Un colloque sur normes hydrologiques avait eu lieu à Ouagadougou en 1986, et des mises en garde avaient été formulées quand à « *l'utilisation aveugle d'approches statistiques avec un échantillon trop faible* » (Pouyaud, 1986). Pour l'anecdote, ce colloque citait déjà le cas du barrage de Bagré (encore à l'état de projet car il n'a été mis en eau qu'en 1992) :

« Ces barrages [ceux de Bagré et de Kombiel] n'ont pas été construits et la présente étude permet d'estimer l'erreur que l'on aurait commis en 1975 sur les prévisions des caractéristiques hydrologiques de ces ouvrages, telles qu'elles apparaissent dans les rapports de l'époque qui n'utilisaient évidemment que les données existantes alors et antérieures à la récente phase de sécheresse. »

Au delà de la définition d'une norme, il est d'usage lorsque l'on dimensionne un ouvrage de se placer dans les conditions les plus sévères, et il paraît donc logique de se référer à la période pendant laquelle les débits étaient les plus grands. C'est le raisonnement qui a dû être tenu lors de la conception du barrage de Bagré, puisque ce sont les chroniques antérieures à 1980 qui ont été utilisées (Ouedraogo et al, 2002).

Mais si les écoulements étaient plus importants sur les chroniques antérieures à 1980, pourquoi le barrage a-t-il reçu une crue supérieure à sa crue de projet ? Des recherches menées depuis les années 1970 sur une partie du bassin amont ont montré que les coefficients de ruissellement ont significativement augmenté avec la progression des cultures (Mahe et al, 2002). Ainsi, alors qu'il pleut moins, l'eau ruisselle plus et le pic de crue est plus important que lors des décennies précédentes. Si les données récentes avaient été utilisées, l'estimation du débit de pointe aurait donc été supérieure. Il est à noter qu'une étude sur la remise à niveau des normes hydrologiques est en cours de financement, c'est l'institut ZIE qui pourrait la mener.

Manque de données

Un autre problème pénalisant le travail de modélisation et d'estimation des débits de pointe est le manque de données hydrologiques, et le coût élevé des données météorologiques, que les bureaux d'études n'achètent donc pas.

DÉGRADATION DES OUVRAGES ET EVOLUTION DES CONTRAINTES

Malgré ces défauts de conception, de nombreux aménagements ont rempli leur rôle pendant un certain temps. Aujourd'hui pourtant, ces aménagements sont déficients et vulnérables. Il y a deux raisons à cela : d'une part les ouvrages se sont dégradés, à cause de l'absence de maintenance ; d'autre part les contraintes auxquelles ils sont soumis ont évolué (évolution des coefficients de ruissellement, augmentation de la variabilité climatique).

Gestion de l'eau et maintenance

Parmi les principales contraintes entravant le développement de l'irrigation, le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique identifie la « *mauvaise gestion de l'eau, des systèmes d'irrigation, de la maintenance et de l'entretien des infrastructures et des équipements* » (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2003). Plus loin, le rapport précise que l'absence d'organisation chargée de la gestion des barrages et retenues, des cours d'eau, ou des sources, entraîne l'exploitation anarchique de l'eau, la dégradation des ouvrages, des rivières et sources, des conflits d'usages et entre les usagers, et la dégradation des ressources naturelles.

Les situations diffèrent selon les types de périmètres irrigués mais les difficultés se retrouvent dans tous les types :

1. Les grands périmètres : Ils ne font pas exception au problème du manque de gestion et de maintenance. En dehors des grands barrages (Bagré, Kompienga, Ziga, Comoé), ils ne disposent pas d'organismes de gestion, et l'entretien des grands aménagements est déficient. Avec le désengagement de l'état, les groupements d'exploitants ont été amenés à gérer ces systèmes complexes sans mesures préparatoires. Il en résulte que les canaux, parcelles, ouvrages, et équipements se dégradent. Le rapport du Ministère cite l'exemple des périmètres de Karfiguela (où des remblais de canaux sont utilisés pour la confection de parpaings), de Douna, et du Sourou.
2. Les périmètres moyens : bien que les organisations paysannes aient été impliquées dès le départ dans la gestion de ces périmètres, il n'existe pas non plus de cadre réglementaire définissant clairement les responsabilités. Le rapport indique que « *Ces périmètres connaissent des problèmes énormes de gestion et de maintenance* » se traduisant par de l'inéquité et des conflits, un manque d'eau en contre-saison, et des dégradations et réhabilitations récurrentes.
3. La petite irrigation : La maintenance des aménagements et équipements est du ressort des promoteurs, ou des membres de la coopérative. Elle est généralement déficiente, surtout dans les petites exploitations. L'entretien des motopompes semble être la première préoccupation, loin devant la protection contre les inondations.
4. Les bas-fonds : Les bas-fonds sont dans une situation semblable à celle des périmètres moyens.

Devant les énormes problèmes de maintenance des équipements, la protection contre les inondations doit sembler secondaire aux yeux des exploitants. Si les remblais de canaux sont utilisés pour la confection de parpaings, il est possible d'imaginer la même situation avec le remblai des digues de protection. Les causes de ces défaillances sont d'une part, l'insuffisance d'intégration des bénéficiaires dans les mécanismes de gestion et de maintenance dans les projets, et d'autre part, le flou réglementaire sur les responsabilités de la maintenance des aménagements. C'est d'ailleurs un constat clairement indiqué dans le rapport du Ministère pour le cas des barrages (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2003) :

« *La situation catastrophique des barrages est due pour l'essentiel, à l'absence de responsabilité sur ces ouvrages et au manque d'entretien et de maintenance* ».

Cette clarification des responsabilités devrait être mise en oeuvre avec les Plans d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE).

Altération des sols et évolution des coefficients de ruissellement

Cependant, les défaillances des aménagements ne sont pas uniquement dues aux dégradations qu'ils ont subies au cours du temps, ils font également face à des contraintes plus importantes que par le passé, due à l'augmentation des coefficients de ruissellement et à une variabilité climatique accrue.

Comme nous l'indiquions lors du paragraphe traitant de l'évolution des normes hydrologiques, la relation entre pluviosité et débits n'est pas triviale. La figure 9 montre l'évolution des pluies et des coefficients de ruissellement sur le bassin du Nakambe à Wayen de 1955 à 1995. Alors que le volume des pluies diminue considérablement entre les décennies 50/60 et les suivantes, les écoulements augmentent, en moyenne comme pour les maximums. En somme : Moins de pluie mais des crues plus rapides et plus importantes. Mahe et al (2002), ont montré que l'occupation des sols était un des facteurs expliquant l'évolution des débits observés sur le Nakanbé.

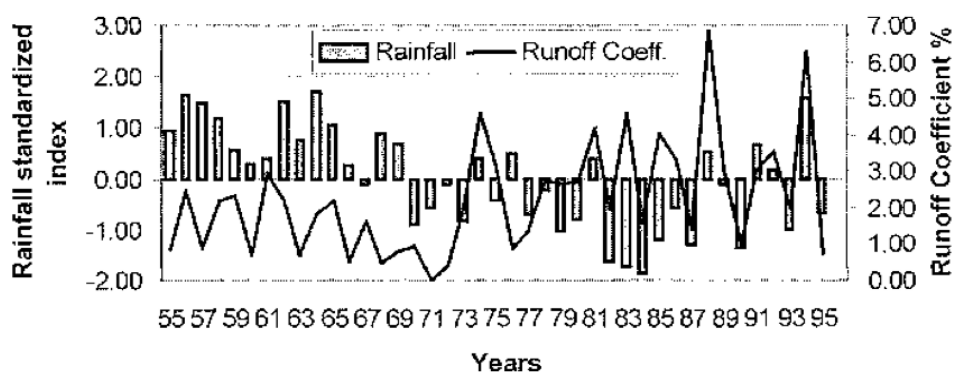


Figure 9 : Evolution des précipitations et des coefficients de ruissellement, sur le Nakanbé à Wayen, In Mahe et al., 2002.

Mais la relation pluie-débit dépend fortement des bassins versants et n'est pas transposable. Ainsi, les projections d'écoulements moyens à l'horizon 2025 citées dans le Programme d'Action National aux fins de l'Adaptation (PANA) (sur la base de simulation effectuées avec le modèle de circulation générale MAGICC/SCENGEN) diffèrent grandement entre les bassins versants :

- Nakanbé : -35,9%
- Niger : -47%
- Comoé : +45,6%
- Mouhounn : +54,7%

Ces évolutions sont données par rapport à la référence 1961-1990, et l'évolution des maximums n'est pas donnée.

L'augmentation des coefficients de ruissellement sur les bassins du Nakanbé et du Niger est due à l'altération de l'état de surface, qui comprend l'organisation des sols et le couvert végétal. Lorsqu'une surface est nue, et que son sol est colmaté, l'eau s'infiltre moins et ruisselle plus. Cette altération des surfaces s'explique pour partie par les sécheresses récurrentes, et pour partie par la croissance des surfaces cultivées. En effet, lorsque le couvert végétal diminue, les sols mis à nus deviennent vulnérables au « splash » des gouttes de pluies, qui désagrègent les amas et laissent les particules fines colmater la porosité superficielle. Par ailleurs, la disparition des végétaux affaiblit la méso-faune (vers, termites) dont l'activité participe grandement à la porosité des sols. Ainsi, l'assèchement du climat est responsable de l'« encroûtement » des sols, et de l'accroissement de l'érosion (Albergel, 2007).

Dans le même temps, les agriculteurs, pour faire face d'une part à la forte croissance démographique, et d'autre part à la baisse de la pluviosité, ont recours à l'extension des surfaces cultivées, et à la surexploitation des sols. Or, les surfaces cultivées ont des coefficients de ruissellement plus importants que ceux des savanes ou des surfaces en jachère.

Dès 1986, Albergel et Valentin identifient ces mécanismes lors de l'étude de la sahélisation d'un petit bassin versant du plateau Mossi, au Nord-Est de Ouagadougou : le Kognere (Albergel et Valentin, 1990). Ils ont montré qu'entre 1960 et 1984, la sécheresse persistante a fait régresser les surfaces de savane arbustive de 80% à 45%. Ils ont également mis en évidence que dans le même temps, les surfaces cultivées ont été multipliées par deux, que les surfaces en jachères ont, elles, été divisées par deux, et que des zones marginales ont été défrichées. Cette altération des surfaces (anthropique autant que climatique), a induit une augmentation du coefficient de ruissellement estimée à 50% entre 1962 et 1984, pour les pluies supérieures à 25mm. Les auteurs concluent que :

« Cette étude, comme bien d'autres observations montre que souvent la sécheresse, en favorisant les conditions du ruissellement ne met pas à l'abri des crues les plus catastrophiques qu'elle peut accroître de façon indifférenciée ».

Outre les conséquences hydrologiques de protection contre les inondations, ces phénomènes contribuent également à augmenter fortement l'érosion des sols, les rendant impropres à la culture (cf. suite).

Récemment, Gourdin et al (2007) ont mené des investigations plus poussées sur le rôle de l'occupation des sols dans les coefficients de ruissellement. Les résultats de cette étude diffèrent selon les bassins versants : à altération des surfaces comparable, certains répondent par une augmentation des coefficients de ruissellement, tandis que d'autres non. En 2003, Mahé et al. avaient remarqué que la limite entre les bassins pour lesquels les écoulements ont augmenté et ceux pour lesquels ils ont diminué semble se situer autour de l'isohyète 700mm. Il apparaît que les relations pluies-débits sont encore insuffisamment bien comprises pour expliquer l'ensemble des phénomènes observés. La distribution des pluies, pour un même volume, est un autre facteur explicatif.

Evolution de la variabilité climatique

Il convient lorsque l'on étudie l'évolution du climat au Sahel de faire la part des choses entre les changements globaux et les mécanismes propres à « l'assèchement » du Sahel. L'attribution de l'origine de l'assèchement du Sahel aux changements globaux ou à des mécanismes plus locaux fait l'objet d'un débat dans la communauté scientifique. Des études récentes ont établi que l'oscillation atlantique multi-décennale est un facteur de la variabilité interannuelle au Sahel, et le GIEC supporte cette hypothèse (Bates et al., 2008).

Les mécanismes de désertification au Sahel ont fait l'objet d'études dès 1975 avec l'hypothèse de Charney, qui suppose l'existence d'une boucle de rétroaction positive entre l'assèchement du Sahel et l'augmentation de l'albédo (Charney, 1975). Le principe de cette théorie est que la sécheresse diminue le couvert végétal, la diminution du couvert végétal augmente l'albédo de la terre, l'augmentation de l'albédo de la terre favorise la descente du front intertropical, la descente du front intertropical aggrave les phénomènes de sécheresses, etc. Au delà des différentes théories, la principale interrogation des scientifiques est de savoir si le retour de conditions pluviométriques favorables permettrait la réimplantation du couvert végétal, ou si un seuil a été franchi. L'identification des signaux précurseurs du changement climatique est donc subtile dans la région sahélienne.

Par ailleurs, l'Afrique de l'Ouest est une des régions du monde pour laquelle les différents modèles de simulation du climat divergent le plus (cf. Figure 10). Néanmoins, le GIEC estime que les pluies devraient être de volume semblable mais plus concentrée dans le temps, avec des épisodes plus violents. Récemment, les résultats de simulations à l'échelle du bassin de la Volta ont prévu en moyenne pour 2030-2039, un démarrage plus tardif de la saison des pluies, décalé de 10 jours par rapport à la période 1991-2000 (Van de Giesen, 2010). Ces simulations prévoient des volumes de précipitations sensiblement constants, et une fin de la saison des pluies identiques, ce qui tend à confirmer les prévisions d'épisodes pluvieux plus intenses.

La tentation est donc grande de voir les récentes inondations comme une des conséquences du changement climatique. Dans son PANA, le Ministère de l'Environnement établit implicitement ce lien entre épisodes extrêmes et changement climatique. De même, Van de Giesen et al. prévient que ces inondations pourraient devenir plus fréquentes avec le réchauffement climatique. Le rôle des changements globaux dans les épisodes récents restent cependant difficile à cerner au vu du nombre de mécanismes mis en cause. En revanche, le recul constaté du début de la saison des pluies pourrait bien constituer un signe précurseur du changement climatique. Cette concentration de la saison des pluies pourrait réduire le rendement de l'agriculture pluviale.

FACTEURS DE BAISSSE DE L'EFFICACITÉ DES SYSTÈMES D'IRRIGATION

Nous avons donc discuté de la dégradation des ouvrages, puis de l'évolution des contraintes auxquels ils sont soumis (augmentation des coefficients de ruissellement et de la variabilité climatique). Outre ces mécanismes, qui sont à l'origine de la vulnérabilité actuelle des retenues et des périmètres aux inondations, il existe d'autres facteurs susceptibles d'entamer l'efficacité de ces ouvrages : la sédimentation des retenues et l'augmentation de l'évaporation due au changement climatique.

Sédimentation des retenues

La sédimentation des retenues est un phénomène connu et qui concerne toutes les digues et barrages, au Burkina Faso comme ailleurs. L'importance des conséquences de l'accélération de l'érosion est en revanche mal connu.

Nous avons introduit précédemment les mécanismes d'altération de l'état des surfaces, d'origine anthropique (extension des cultures) et climatique (diminution du couvert végétal due aux sécheresses). Ces mécanismes peuvent aboutir, certes à l'augmentation des coefficients de ruissellement (avec les conséquences dont nous avons déjà discuté), mais également à l'augmentation de l'érosion des sols. Cette érosion a deux conséquences sur l'efficacité des cultures irriguées : l'appauvrissement des sols par ablation de leur partie superficielle (riche en nutriment), et la sédimentation des retenues. Le phénomène est sans doute exacerbé par la croissance rapide du maraîchage autour des retenues. La détérioration des systèmes d'adduction d'eau dans les périmètres irrigués situés à l'aval des barrages, qui provoque le déplacement des cultures à l'amont, accélère également la sédimentation des retenues.

Le Small Reservoirs Project a décrit plusieurs méthodes de quantification de la sédimentation, par mesures (sonar et échantillonnage) et par modélisation, mais ne publie pas de résultats.

Augmentation de l'évaporation

L'augmentation de l'évaporation va également réduire significativement le volume d'eau disponible pour l'irrigation. En effet, la topographie du Burkina Faso rend le stockage d'eau particulièrement sensible à l'évaporation. Le pays étant relativement plat, les retenues sont très peu encaissées et pour un volume donné, elles font face à une demande évaporatoire plus élevée que les petits barrages de la Côte d'Ivoire, du Ghana, ou du Nordeste Brésilien (Gourdin et al, 2007). Ainsi, la perte par évaporation est aujourd'hui estimée à 40% des volumes pour les grandes retenues et jusqu'à 70% pour les plus petites retenues (Programme GIRE, 2001).

Or, le GIEC prévoit une augmentation de la température moyenne de 0,8°C en 2025 et 1,7°C en 2050 pour le scénario A2 (le moins favorable). Les petites retenues devraient donc s'assécher plus tôt dans la saison sèche qu'aujourd'hui.

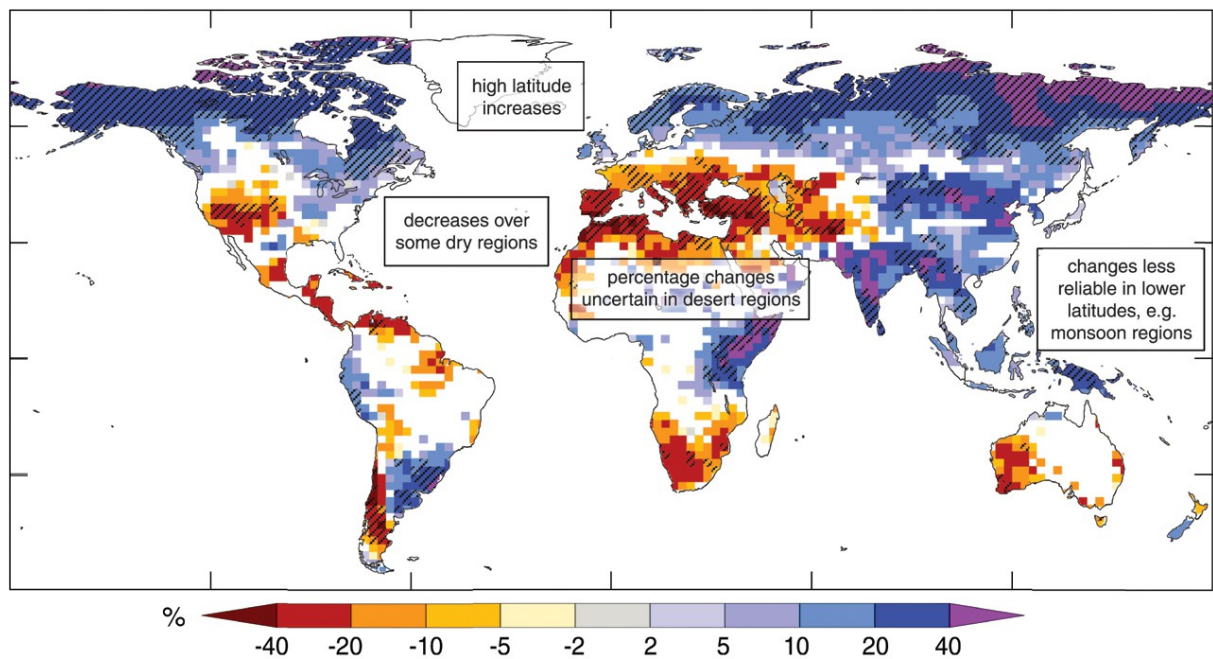


Figure 10 : Variation relative à grande échelle de l'écoulement annuel pour la période 2090-2099, par rapport à la période 1980-1999. La figure présente les valeurs médianes de 12 modèles climatiques selon le scénario A1. Les zones en blanc correspondent aux régions où moins de 66% des modèles concordent sur le sens de variation et les zones en pointillé à celles où plus de 90% des modèles concordent sur celui-ci. Source : Figure 3-5 du rapport de synthèse du quatrième rapport du GIEC.

ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES SYSTÈMES D'IRRIGATION BURKINABÉS ET PERTINENCE DE NOUVEAUX INVESTISSEMENTS

A ce point, nous avons traité deux des trois objectifs énoncés en fin de l'introduction de cette synthèse. Le dernier objectif est d'« Evaluer la pertinence de nouveaux aménagements ». Pour ce faire, nous commencerons par un aperçu rapide des performances économiques des différents types de périmètres, avant d'élargir la discussion. Enfin nous essayerons d'estimer la pertinence de nouveaux investissements aux vues de ses performances actuelles et des évolutions futures.

ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES DIFFÉRENTS TYPES DE PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS

Coût d'aménagement, coûts d'exploitation, et productivité

Nous reprenons ici une étude sur la rentabilité des différents types d'irrigation pour l'exploitation d'un ha de riz, cité dans le rapport du Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, sur la Stratégie de Développement de l'Irrigation (*La rentabilité des usages de l'eau en agriculture irriguée version provisoire*, Programme GIRE, 2000, In Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2003). La rentabilité est calculée pour des rendements de 4 tonnes à l'ha (chiffre moyen dans la situation actuelle) et pour des rendements de 6 tonnes à l'ha (performance qui devrait être atteinte rapidement). Les systèmes étant très variables d'une région à l'autre, ces chiffres ne sont donnés qu'à titre indicatif. Leurs comptes sont donnés en annexe.

1. Grands périmètres : Les coûts d'aménagements des grands périmètres sont très élevés, de l'ordre de 10 millions de FCFA par ha, sans compter le coût des barrages ou de l'aménagements du fleuve. La marge nette à l'ha est de -137 427 FCFA/ha pour 4t/ha et de +60 000 FCFA pour 6t/ha. En revanche, la marge est de 752 661 FCFA/ha pour la culture du haricot vert (plus marginale). Si les périmètres irrigués peuvent être rentables, les coûts d'entretien des barrages (non comptés) rendent souvent l'aménagement déficitaire dans l'ensemble. Par ailleurs, l'appropriation par les exploitants est très faible : 5,3% seulement des surfaces aménageables ont été mises en irrigation à Bagré, contre 11,7% au Sourou.
2. Périmètres moyens : Les coûts d'aménagements sont également importants, de l'ordre de 8,5 millions de FCFA ha. L'endiguement pour protéger les périmètres des crues représentent généralement 30 à 40% de ces coûts. Le rapport du Ministère note que ces coûts peuvent être réduits en faisant appel aux entreprises et bureaux d'études locaux, mais « avec toutefois une réduction substantielle de la qualité des études et des réalisations ». Les marges sont de -289 938 et -87168 FCFA pour des rendements de 4 et 6t/ha de riziculture, mais de +646 182 FCFA pour le haricot vert.
3. Petite irrigation : Les coûts d'aménagements sont bien plus bas, autour de quelques centaines de milliers de FCFA en fonction du perfectionnement. Les plus élaborés coûtent 1,5 millions de FCFA/ha. La plupart des exploitants cultivent du maïs ou du Niébé avec en parallèle des cultures maraîchères (lucratives). Les rentabilités diffèrent beaucoup en fonction des régions et équipements, mais sont dans l'ensemble positives.
4. Bas-fonds : Les coûts d'aménagements sont de l'ordre de 1,5 millions de FCFA pour les bas-fonds simples, et de 3 à 4 millions de FCFA pour les bas-fonds améliorés. Les marges sont positives avec +24 158 FCFA/ha et +68 608 FCFA/ha pour des rendements de 2,2 et 3,5 t/ha, et dans le cas de bas-fonds améliorés. Ici encore, la culture maraîchère constitue une spéculation dont les marges sont appréciables, avec +752 661 FCFA/ha pour le haricot vert (périmètre irrigué par pompage).

La position du Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique est de promouvoir le développement de la petite irrigation. Il déclare ainsi :

« De tous les types de périmètres irrigués qui existent et se développent au Burkina Faso, la petite irrigation est celle qui recèle le plus de potentialités de développement du fait de son appropriation par les producteurs, des faibles coûts et de la forte rentabilité des capitaux investis. C'est par la petite irrigation que le Burkina Faso pourra accélérer la mise sous irrigation des exploitations agricoles à un rythme important. La petite irrigation prépare également le développement de la

grande irrigation par la dissémination des savoirs-faire et des techniques d'irrigation au sein des populations, l'accroissement des capacités des acteurs, l'introduction d'une nouvelle discipline du travail et la création des filières porteuses de production. »

Des performances sous-optimales

Comme le fait remarquer Venot et al., de nombreux auteurs pointent du doigt les faibles performances des systèmes d'irrigation en Afrique de l'Ouest. Par exemple, une étude des systèmes d'irrigation à proximité de deux réservoirs dans l'*upper east region* du Ghana (voisine du Burkina Faso) par Mdemu et al. (2009) montre que la productivité de l'eau y est faible et qu'elle peut être sensiblement améliorée par une meilleure gestion de l'eau et de nouvelles pratiques agronomiques.

En outre, Mugabe et al. (2003) ont montré qu'il peut être préférable d'utiliser l'eau retenue dans les barrages plus tôt dans la saison sèche pour diminuer l'évaporation car la performance de l'utilisation de l'eau retenue dans un barrage est fortement tributaire de l'évaporation, qui en prélève 40 à 70% en moyenne sur l'année. En effet, si le niveau d'eau est trop haut dans le barrage au plus fort de la saison sèche, l'évaporation y est maximum et peut atteindre 97% des volumes soustrait à la retenue pendant la saison sèche (ie 3% pour l'utilisation).

Enfin, Faulkner et al. (2008) ont également montré que la performance des systèmes d'irrigation dépend de la disponibilité de l'eau : plus elle est élevée, moins la gestion de l'eau est organisée, et plus les pertes sont importantes. Ce point était également mis en lumière par le Gret dans la réhabilitation des périmètre irrigués : "Tant que les réserves en eau sont excédentaires, ce problème d'absence de maîtrise de gestion de l'eau reste caché, mais dès que les ressources en eau diminuent, il devient flagrant" (Gret, 1991).

BÉNÉFICES ET PERTES ASSOCIÉS À LA PRÉSENCE OU NON D'UN PETIT BARRAGE

Dans l'évaluation des aménagements, il convient, outre les performances économiques et techniques des systèmes d'irrigation, de considérer les différents bénéfices et pertes associés à la présence ou non d'un petit barrage. Cecchi a proposé en 2007 une grille d'analyse des petits barrages (en annexe 3).

Des aménagements multi-usages

Construits pour la majorité d'entre eux dans les années 70 et 80 pour faire face aux grandes sécheresses, les petits barrages ont fait l'objet d'une forte demande de la part des populations depuis, et leur appropriation est très bonne. En plus des périmètres irrigués qui accompagnent souvent les barrages, les eaux de la retenue sont utilisées pour de nombreux autres usages : Abreuvement des troupeaux, usages domestiques et récréatifs, pêche, et activités artisanales. (Cecchi, 2006). Il faut donc considérer ces aménagements comme générateur de richesse.

Il faut également considérer qu'en réduisant la pauvreté des populations, ces aménagements contribuent à la réduction de l'exode rural. Ainsi, la disparition de ces ouvrages conduiraient probablement de nombreuses personnes à s'entasser dans grandes métropoles.

Jeux de pouvoirs autour des retenues, danger sanitaires, et impacts environnementaux

Cependant, les petits barrages sont également générateurs de mutations sociales et parfois d'inégalités (Cecchi, 2006). C'est la monétarisation des activités qui constitue le bouleversement principal, avec par exemple, l'emploi de « salariés » pour arroser les parcelles en maraîchage. Le statut foncier des parcelles et le pouvoir des autorités coutumières sont également en évolution : l'eau devient un outil de pouvoir. Philippe Cecchi fait par ailleurs l'hypothèse que ces richesses sont à l'origine de nouvelles dynamiques démographiques vers les zones les mieux équipées.

L'augmentation du nombre des retenues pose aussi la question du risque sanitaire pour les maladies utilisant l'eau comme vecteur. Enfin, la dégradation de la qualité de l'eau et l'état de santé de ces écosystèmes artificiels constituent une dernière source d'interrogation.

RISQUE SUR LES OUVRAGES ET PERTINENCE DES INVESTISSEMENTS

Nous discutons ici les éléments relatifs au risque inondation des aménagements existants et futurs, au vu des causes de dégradations et destruction identifiées. Nous discutons également de leur efficacité. Nous rappelons qu'un risque se définit comme la conjonction d'un aléa et d'une vulnérabilité.

Risque de rupture ou de dégâts des aménagements

La multitude de facteurs mis en jeu et le manque d'informations rendent l'estimation des risques de dégâts ou de rupture délicate. En particulier, le fait de ne pas avoir établi d'inventaire des dégâts subis et des causes de défaillance, suite aux épisodes de 2009 et 2010, est dommageable. Cependant, plusieurs éléments laissent penser que les ruptures et dégâts observés en 2009 et 2010 pourraient se reproduire de manière chronique :

- La grande majorité des ouvrages sont vulnérables :
 - Presque tous les aménagements ont été conçus avec des normes hydrologiques obsolètes (quand une étude a été faite).
 - Leur réalisation a pu être mauvaise, peu de suivi-contrôle a été fait.
 - L'entretien de la grande majorité des ouvrages a été déficient.
- L'aléa est devenu important durablement dans les bassins dont les coefficients de ruissellement ont augmenté, et devrait même augmenter avec le changement climatique :
 - Dans les bassins où les coefficients de ruissellement ont augmenté :
 - La dégradation de l'état de surface due à l'extension des cultures, est liée à la croissance démographique qui devrait se maintenir, et aux sécheresses.
 - La dégradation de l'état de surface due à la diminution du couvert végétal est également liée aux sécheresses.
 - Même avec le retour d'années plus humides, il est probable que la végétation ne se réimplante pas sur les sols mis à nu et très érodés.
 - Les simulations de modèle climatique par exemple à l'échelle du bassin de la Volta prévoit une variabilité climatique accrue.

Il est à noter qu'il est possible de réduire la vulnérabilité des ouvrages existants en les réhabilitant, et de réduire la vulnérabilité des ouvrages futurs en corrigeant les normes hydrologiques. Si les périmètres à l'amont des retenues sont moins vulnérables que ceux situés à l'aval, ils contribuent à l'augmentation de la sédimentation des retenues, et le déplacement des périmètres à l'amont des retenues ne constitue pas une solution durable.

Concernant la réduction de l'aléa, il n'est pas possible de réduire l'aléa climatique (importance des épisodes pluvieux), mais la fréquence des crues importantes pourrait toutefois être diminuée en rétablissant un bon état de surface des sols, ou au moins en limitant leur dégradation.

Efficacité et valeurs à moyen et long terme.

Il apparaît que le volume d'eau disponible risque de baisser avec la sédimentation des retenues et l'augmentation de l'évaporation. Cependant, dans la mesure où cette diminution reste modérée, la valeur des petits barrages pourrait au contraire augmenter. En effet, dans un contexte de variabilité climatique accrue, ces ouvrages seront de plus en plus indispensables. La banque mondiale estime dans son étude sur les coûts de l'adaptation aux changements climatiques, que la construction de réservoirs représente un des principaux investissements à réaliser (World Bank, 2010). La valeur de ces barrages seraient d'autant plus fortes au Burkina Faso qu'il n'existe pas d'autre solution durable, en l'absence de ressources souterraines suffisantes.

CONCLUSION

Comme nous le soulignons en introduction, la sécurisation des stocks d'eau et le développement de l'agriculture irriguée est un enjeu majeur pour le Burkina Faso, dont le secteur agricole burkinabé (essentiellement pluviale) est toujours très vulnérable à la variabilité climatique. En effet, les années déficitaires en précipitation à l'échelle inter-annuelle se traduisent par d'importantes sorties de devises pour acheter du riz sur un marché mondialisé dont les cours sont également très variables. Cependant, malgré l'importance de ces enjeux, la récurrence des dégâts dues aux inondations est telle que la pertinence des investissements est remise en cause. Dans ce contexte, la réduction de la vulnérabilité des systèmes d'irrigation aux inondations est cruciale.

En dépit du manque d'informations sur ces dégâts, un certain nombre de causes sont identifiées :

- des défauts de conception, dues pour partie à l'obsolescence des normes hydrologiques utilisées, et parfois à une volonté de limiter les coûts de projets ;
- des défauts de réalisation ;
- un manque d'entretien ;
- un accroissement de l'aléa, due à l'augmentation de la variabilité climatique et à l'augmentation des coefficients de ruissellement.

L'identification de ces causes nous permet de discuter l'évolution du risque des aménagements existants ou en projet. En particulier, cette synthèse montre l'importance d'une redéfinition des normes hydrologiques, et la nécessité de mettre en sécurité les ouvrages dont la conception s'est appuyée sur des normes vétustes. Ainsi, la vulnérabilité (et donc le risque) sur les ouvrages peuvent être réduits substantiellement.

Concernant l'aléa, la situation est plus floue : il y a des incertitudes sur l'évolution des précipitation, et les causes de l'augmentation des coefficients de ruissellement restent en débat. Il convient cependant de bien comprendre le rôle de l'occupation des sols dans l'augmentation de ces coefficients pour prévenir l'extension des surfaces cultivées à l'amont des retenues et la sédimentation des réservoirs.

Au delà des risques sur les investissements, les systèmes d'irrigation sont souvent critiqués par leur manque d'efficacité, et la faible rentabilité des projets. Il apparaît que les situations diffèrent en fonction du type d'irrigation : si les grands aménagements ont montré de nombreux dysfonctionnements, la petite irrigation a en revanche été très bien appropriée par les populations et elle est considérée comme le moyen de faire progresser l'agriculture irriguée au Burkina Faso. Le fait que ce type d'irrigation soit particulièrement vulnérables aux risques d'inondations souligne la nécessité d'investir dans la redéfinition de normes hydrologiques pertinentes avant de réhabiliter l'existant ou de construire de nouveaux ouvrages.

Par ailleurs, les petits barrages sont des aménagements multi-usages et il convient de bien prendre en compte les bénéfices et pertes associés dans l'arbitrage des investissements.

BIBLIOGRAPHIE :

- Albergel J., 2007. Le nord de la Côte d'Ivoire, un milieu approprié aux aménagements de petite et moyenne hydraulique. In : *L'eau en partage : les petits barrages de Côte d'Ivoire*. Paris, IRD, pp. 45-57. Latitudes 23, . Disponible sur Internet : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/ed-06-08/010040038.pdf [Consulté le 12/11/2010].
- Albergel J., Valentin C., 1990. "Sahélisation" d'un petit bassin versant soudanien : Kognere-Boulsa, au Burkina Faso. Disponible sur Internet : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_03_01/35484.pdf [Consulté le 12/11/2010].
- ARID (Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre), 2004. *Typologie des systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest sahélienne*. Ouagadougou, Ministère Français des Affaires Étrangères, 35p.
- Bates B., Kundzewicz S., Wu S., et al., 2008. *Le changement climatique et l'eau*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 236 p. Disponible sur Internet : <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-fr.pdf>.
- Cecchi P., 2007. *L'eau en partage : les petits barrages de Côte d'Ivoire*. Paris, IRD, 295 p. Latitudes 23. Disponible sur Internet : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/ed-06-08/010040036.pdf [Consulté le 08/10/2010].
- Cecchi P., 2006. *Les petits barrages au Burkina Faso : un vecteur de changement social et de mutations des réalités rurales*. Ouagadougou, IRD, 12p.
- Cecchi P., Gourdin F., et al., 2009. Les petits barrages du nord de la Côte d'Ivoire: inventaire et potentialités hydrologiques. *Sécheresse*, 20 (1), pp. 112-122.
- Cecchi P., Meunier Nikiema A., et al., 2009. Towards an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso. In : *Small reservoirs toolkit*. Battaramulla, IWMI. Disponible sur Internet : http://www.smallreservoirs.org/full/toolkit/docs/Ila%2002%20Faso%20MAB_ML.pdf [Consulté le 02/11/2010].
- Charney J.G., 1975. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101 (428), pp. 193-202.
- FAO Aquastats, 2005. *L'irrigation en Afrique en chiffres, Enquête Aquastat 2005. Burkina Faso*. Rome, FAO, 5p. Disponible sur Internet : ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr29_fre.pdf [Consulté le 02/11/2010]
- Faulkner J.W., Steenhuis T., van de Giesen N., et al., 2008. Water use and productivity of two small reservoir irrigation schemes in Ghana's upper east region. *Irrigation and Drainage*, 57 (2), pp. 151-163.
- van de Giesen N., Liebe J., Jung G., 2010. Adapting to climate change in the Volta Basin, West Africa. *Current Science*, 98 (8).
- Groupe de travail "Réhabilitation des périmètres irrigués, *La réhabilitation des périmètres irrigués*. Paris, GRET, 80 p.
- Mahe G., DRAY A., PATUREL J., et al., 2002. Climatic and anthropogenic impacts on the flow regime of the Nakambe River in Burkina Faso. In : Cape Town, IAHS Press, pp. 69-75. vol.274.
- Mahe G., LEDUC C., AMANI A., et al., 2003. Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau. In : Montpellier, IAHS Press, pp. 215-222. vol.278.
- Mdemu M., Rodgers C., Vlek P., et al., 2009. Water productivity (WP) in reservoir irrigated schemes in the upper east region (UER) of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34 (4-5), pp. 324-328.

- Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, et des ressources halieutiques, 2010. *Projet de réduction de la vulnérabilité des petits barrages au changement climatique en vu d'optimiser leur contribution à la sécurité alimentaire*. Ouagadougou, Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, et des ressources halieutiques, 20p.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, et des ressources halieutiques, 2006. *Répertoire des Périmètres Irrigués et Bas-Fonds*. Ouagadougou, Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, et des ressources halieutiques, 58p.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, et des ressources halieutiques, 2003. *Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Irrigation au Burkina Faso*. Ouagadougou, Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique, 121p.
- Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, 2007. *Programme d'Action National d'Adaptation à la Variabilité et Changements Climatiques*. Ouagadougou, Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, 84p.
- Ouedraogo M., Paturel J., Mahe G., 2002. Conséquences de la sécheresse observée depuis le début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et centrale : normes météorologiques et hydrologiques. In : Cape Town, IAHS Press, pp. 149-155. vol.274.
- Paturel J.-A.-O., 2003. The concept of rainfall and streamflow normals in West and Central Africa in a context of climatic variability. *Hydrological Sciences Journal*, 48 (1), p. 125.
- Pouyaud B., 1986. Estimation des apports annuels et des étiages, avant et après la récente phase de sécheresse, de la Volta Noire a Noubiel, et de la Volta Blanche à Bagré. In : Ougadougou, p. 16. Disponible sur Internet : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_33-34/39650.pdf. [Consulté le 02/11/2010]
- Programme GIRE, 2001. *Etats des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et leur cadre de gestion*. Ouagadougou, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, p. 252.
- Venot J.P., Cecchi P., Valeurs d'usage ou performances techniques : comment apprécier le rôle des petits barrages en Afrique subsaharienne ? *Cahiers de l'Agriculture*, proposé pour le Numéro spécial "Agriculture irriguées", à paraître.
- World Bank, 2010. *The Costs to Developing Countries of Adapting to Climate Change*. The World Bank Group, p. 98. Disponible sur Internet : <http://beta.worldbank.org/content/adaptation-costs-global-estimate>. [Consulté le 02/11/2010].

ANNEXE 1 : CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE, CLIMATIQUE ET INSTITUTIONNEL

Entouré du Mali au nord, du Niger à l'est, du Bénin au sud-est, du Togo et du Ghana au sud et de la Côte d'Ivoire au sud-ouest, le Burkina Faso n'a pas d'accès à la mer. D'une surface de 274 200 km² (2 fois la France, à 1% près, CIA factbook), la superficie cultivable s'élève à 9 millions d'hectares, soit un tiers du pays (FAO Aquastats, 2005).

Des conditions géologiques et climatiques défavorables à l'agriculture

Les sols sont en général peu profonds, pauvres en éléments nutritifs, et souvent vulnérables à l'érosion hydriques et éoliennes. Les principaux types de sols sont notamment :

- Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à lessivés (39,1% du territoire) ;
- Les sols bruns eutrophes tropicaux sur matériau argileux (6,2%) ;
- Les vertisols sur alluvions ou matériau argileux (5,8%) ;
- Les sols hydromorphes que l'on trouve à proximité des points ou des cours d'eau et dans les bas-fonds (12,8%).

Dans les parties hautes des périmètres irrigués, on trouve des sols peu évolués, d'apport alluvial hydromorphes, (Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2003). Sur les 9 millions d'hectares cultivables, 4,4 sont cultivés.

Les conditions climatiques ne sont pas non plus favorables. Le climat, de type Soudano-Sahélien, est régi par le déplacement du Front Intertropical (FIT) qui définit une saison sèche d'Octobre à Mai, et une saison des pluies, de Juin à Septembre. De manière générale, les pluies sont rares et violentes (jusqu'à 60mm/h). Les volumes de précipitations moyen augmentent du Nord (Sahélien) vers le Sud (Soudanien), et on distingue 3 zones climatiques :

- La zone Sahélienne, avec une pluviométrie comprise entre 200 et 600 mm par an ;
- La zone Soudanienne Septentrionale, avec une pluviométrie comprise entre 600 et 900 mm par an ;
- La zone Soudanienne Méridionale, avec une pluviométrie de 900 à 1200 mm par an ;

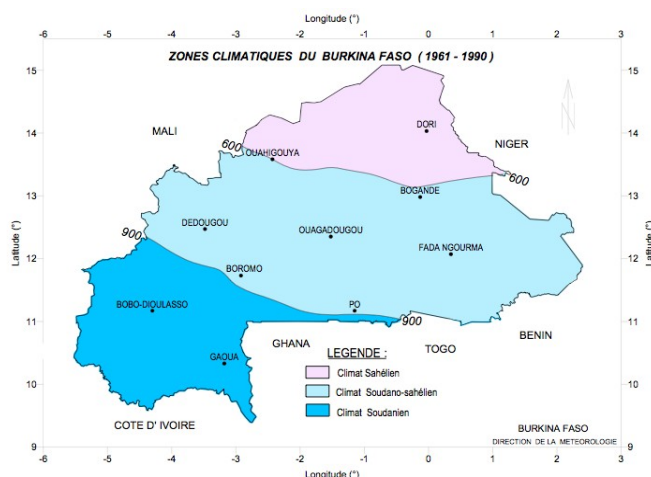


Figure 12 : Les zones climatiques du Burkina Faso. In Ministère de l'Environnement, 2007.

Le faible nombre de jours de pluie (voir ci-après) montre bien la longueur de la saison sèche durant laquelle les besoins en eau pour l'irrigation et l'abreuvement sont contraints par les réserves faites durant la saison des pluies. Celles-ci doivent être d'autant plus importantes que la

demande évaporatoire est très forte pendant la saison sèche. Lors des années déficitaires à l'échelle interannuelle, la tension sur la ressources en eau devient très critique : les grandes sécheresses des années 70 et 80 ont eu des conséquences désastreuses pour l'agriculture du Burkina Faso (et d'autres nombreux pays d'Afrique de l'Ouest).

Après la sécheresse de 73-74, le pays a développé une politique nationale de développement de l'irrigation, mise en forme dans le rapport final du Séminaire national sur la politique de l'eau de 1976. La maîtrise de l'eau est devenue un objectif prioritaire et de grandes plaines ont été aménagées (Sourou, Bagré, Douna, Vallée du Kou). L'irrigation s'est également beaucoup développée au travers de la petite hydraulique villageoise, de sorte que le Burkina Faso est aujourd'hui le pays en Afrique qui compte le plus grand nombre de « petits barrages ».

Caractéristiques des zones climatiques	Zone Soudanienne méridionale	Zone Soudanienne septentrionale	Zone Sahélienne
Pluviométrie annuelle (mm)	900 à 1200	600 à 900	300 à 600
Durée de la saison des pluies (jours)	180-200	150	110
Nombres de jours de pluie	85-100	50-70	<45
Température moyenne annuelle	27°C	28°C	29°C
Humidité moyenne de l'air en saison sèche	25%	23%	20%
Humidité moyenne de l'air en saison des pluies	85%	75%	70%
Evaporation annuelle (mm)	1800-2000	2600-2900	3200-3500

Un pays plat sans grand fleuve, propice à la petite hydraulique

Le Burkina Faso, dont le nom était celui de Haute-Volta jusqu'en 1984, se divise en 4 grands bassins versants :

- Le Nakanbé (ex Volta blanche) qui compte plusieurs grands aménagements tel que Bagré, Kompienga, Ziga, et Toécé. A noter que Kompienga (2,5 milliard de m³) est voué à la production hydroélectrique et Ziga (200 millions de m³) à l'approvisionnement en eau potable (le Bassin est très densément peuplé).
- Le Mouhoun (ex Volta noire), qui compte également des grands aménagements (Sourou, Vallée du Kou), et qui représente l'essentiel de la production cotonnière.
- Le Niger, très peu aménagé.
- La Comoé, qui a une intense activité agricole.

Caractéristiques des Bassins Versants	Mouhoun	Nakanbé	Niger	Comoé
Surface (km ²)	17590 (36%)	91036 (30%)	81932 (27%)	83442 (7%)
Précipitations (en milliards de m ³).	74,5	62,3	51,1	19
Ecoulement à la frontière (en milliards de m ³).	2,64	2,44	0,86	1,55
Volume retenu annuellement (en milliards de m ³).	0,29	2,2	0,1	0,08

Volume totale retenu (en milliards de m ³).	0,44	4,23	0,24	0,11
Densité démographique (hts/km2)	41	53	23	20

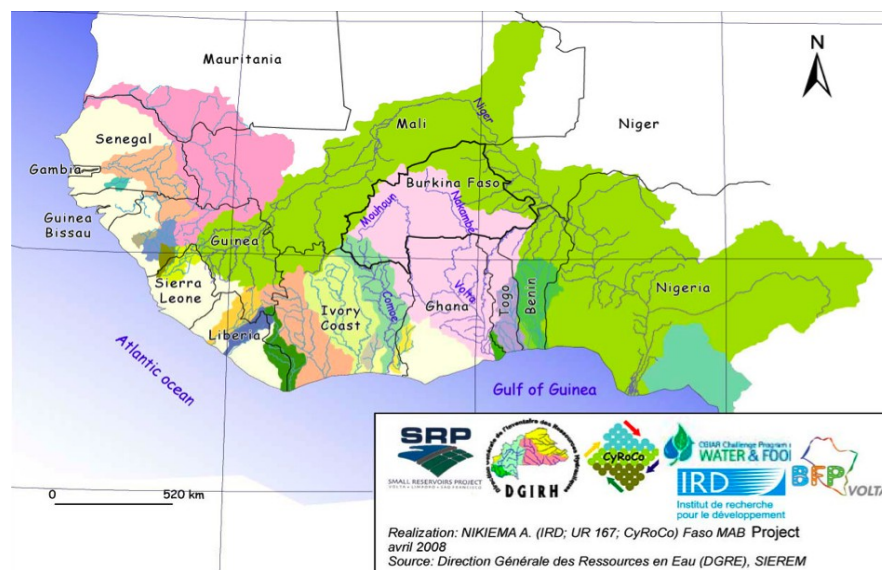


Figure 13 : Les grands bassins versant d'Afrique de l'Ouest. In Cecchi et al, 2009.

Contrairement à ses pays riverains, le Burkina Faso ne possède donc pas de grands fleuves (comme le Niger, le Senegal, ou la Volta) et une part importante des cours d'eau ne sont pas pérennes (le bassin versant du Nakanbé n'en possède pas). Par ailleurs, comme le pays est relativement plat, avec des extrêmes allant de 125 m au sud-est (région de Pama) à 749 m au sud-ouest (pic de Ténakourou) pour une moyenne de 400m, la construction de grandes retenues n'est pas favorisée.

En revanche la géographie du pays, avec ses nombreux bas-fonds, se prête bien à la petite hydraulique, et l'on trouve ainsi un grand nombre de bas-fonds équipés et de petits périmètres irrigués, en amont ou en aval de petits barrages. En outre, les résultats décevants des grands aménagements ont poussé les décideurs à favoriser la petite hydraulique qui jouit, elle, d'une très bonne appropriation par les populations.

Une Gestion intégrée en cours d'implémentation dans un contexte de tension sur la ressource

Enfin, sur le plan institutionnel, des agences de l'eau vont être mises en place dans chaque bassins pour mettre en œuvre les principes de la gestion intégrée des ressources en eau. Cette volonté est portée depuis 1999 par le Programme Gire, qui a notamment effectué en 2001 un état des lieux des ressources en eau. Ce document indique qu'en moyenne (calculé de 1960 à 2000), il tombe 207 milliard de m³ d'eau, sur lesquels 15,6 % contribuent à l'infiltration, tandis que seulement 4,2% génèrent un écoulement de surface. La part de cet écoulement réellement utilisable compte tenu des besoins de l'environnement, du partage avec les pays aval, des pertes par évaporation, et des eaux stockées dans les barrages s'élève à 4,75 milliard de m³ pour une année standard et 2,32 milliard de m³ pour une année sèche.

En revanche, les ressources en eaux souterraines renouvelables sont nulles : si « le principal problème des ressources en eau du pays est la pluviosité qui est à la fois faible et aléatoire, [...] le deuxième [...] réside dans la nature géologique du pays ». Situé essentiellement sur des roches

cristallines inaptes à contenir de grandes aquifères, l'eau infiltrée chaque année est perdu par évapotranspiration et par écoulement, et ne suffit alors pas à compenser leur utilisation : on observe une baisse du niveau des nappes depuis 30 ans.

Ainsi, le bilan des ressources présenté dans cet état des lieux avance le chiffre d'une disponibilité d'eau renouvelable de 852 m³/an/hab. Le seuil de pénurie est habituellement fixé à 1000 m³/an/hab.

Cependant, la seule tension véritable concerne la demande en eau pour la production hydroélectrique, qui est une demande non consommatrice. Pour les demandes consommatrice, les demandes les plus élevés proviennent de l'irrigation (64%), de l'eau domestique (21%), et de l'élevage (14%). Le tableau suivant résume les ressources et demande pour les différents bassins versants (volume en milliards de m³).

Caractéristiques des Bassins Versants	Mouhoun	Nakanbé	Niger	Comoé
Ressources renouvelables utilisables en année moyenne	1,59	1,66	0,73	0,76
Ressources renouvelables utilisables en année sèche	0,77	0,77	0,39	0,39
Demande consommatrice	0,19	0,14	0,05	0,12
Rapport demande/ressources en année moyenne	12	8,7	7,2	15,4
Rapport demande/ressources en année sèche	24,8	18,7	13,5	30

ANNEXE 2 : COMPTES D'EXPLOITATION D'UN HA DE RIZ POUR DIFFÉRENTS TYPES DE PÉRIMÈTRES IRRIGUÉS

Poste	Unité	Coût FCFA	Actuel		Amélioré	
			Quantité	Montant	Quantité	Montant
*Aménagement/eau						
Amortissement aménagement				71.642	-	71.642
Entretien aménagement				27.7	-	27.700
				99.342		
Sous total						99.342
*Intrants						
Semences tout venantes	kg	102	75	7.650	-	-
Semences améliorées	kg	200	-	-	60	12.000
Engrais NPK	kg	220	100	22.000	250	55.000
Urée	kg	205	50	10.250	100	20.500
Produits phytosanitaires	l	6.310	-	-	5	31.550
*Exploitation						
Labour	l	15.000	-	-	1	15.000
Encadrement	-	10.000	-	10.000	-	10.000
Outils	-	15.000	-	15.000	-	15.000
Battage	Fcfa/kg	3	2.200	6.600	3.500	10.500
*Main d'œuvre familiale	H/j	500	160	80.000	200	100.000
Total Charges/ha	-	-	-	250.842	-	368.892
Total charges/kg	-	-	-	114	-	105
*Produit/ha						
Paddy	kg	115	2.200	253.000	3.500	402.500
Paille	kg	10	2.200	22.000	3.500	35.000
Total produit				275.000		437.500
Marge nette / ha				+24.158		+68.608
Marge nette / kg				+11		+20

Figure 14 : Comptes d'exploitation d'un ha de riz irrigué dans un grand périmètre (par pompage). In Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2004.

Poste	Unité	Coût FCFA	Actuel		Amélioré	
			Quantité	Montant	Quantité	Montant
I - CHARGES						
*Aménagement/eau						
Amortissement barrage				136.590	-	136.590
Amortissement périmètre				166.284	-	166.284
Entretien barrage				81.954	-	81.954
Entretien périmètre				76.490	-	76.490
Sous total				461.318		461.318
*Intrants						
Semences tout venant	kg	102	60	6.120	-	-
Semences améliorées	kg	200	-	-	50	10.000
Engrais NPK	kg	220	200	44.000	300	66.000
Urée	kg	205	100	20.500	160	32.800
Produits phytosanitaires	forfait	6.310	-	-	5	31.550
Fumure organique	forfait	-	-	-	-	10.000
*Exploitation						
Labour	forfait	-	-	-	-	15.000
Encadrement	forfait	-	-	-	-	25.000
Outils	forfait	-	-	-	-	30.000
Battage	Fcfa/kg	3	3.500	-	-	18.000
*Main d'œuvre familiale	H/j	500	250	125.000	275	137.500
Total charges/ha	-	-	-	727.438		837.168
Total charges /kg	-	-	-	208		139
Total charges						
II - PRODUIT/HA						
Paddy	kg	115	3.500	402.500	6.000	690.000
Paille	kg	10	3.500	35.000	6.000	60.000
Total produit				437.500	-	750.000
Marge nette / ha				-289.938	-	-87.168
Marge nette / kg				-83	-	-14

Figure 15 : Comptes d'exploitation d'un ha de riz irrigué dans un périmètre moyen (par pompage). In Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2004.

POSTE	UNITE	COUT FCFA	ACTUEL		AMELIORE	
			Quantité	Montant	Quantité	Montant
I - CHARGES						
* Aménagement/eau						
- Amortissement de l'aménagement		-	-	196 811	-	196 811
- Entretien du périmètre		-	-	64 916	-	64 916
- Amortissement station de pompage		-	-	57 595	-	57 595
- Coût de pompage de l'eau		-	-	45 485	-	45 485
Sous total				364 807		364 807
* Intrants						
- Semences tout venant	Kg	102	60	6 120	-	-
- Semences améliorées	Kg	00	-	-	50	10 000
- Engrais NPK	Kg	220	200	44 000	300	66 000
- Engrais Urée	Kg	205	100	20 500	160	32 800
- Produits phyto-sanitaires	L	6 310	-	-	5	31 550
- Fumure organique	forfait	-	-	5 000	-	10 000
Sous total				75 620		150 350
* Exploitation						
- Labour	forfait	25000	-	15000	-	15 000
- Encadrement	forfait	-	-	25 000	-	25 000
- Outillage	forfait	-	4000	20 000	-	30 000
- Battage	FCFA/Kg	3	-	12 000	6 000	18 000
Sous total				72 000		88 000
* Main d'œuvre familiale	H/J	500	250	125 000	275	137 500
Total charges				637 427		740 657
II. PRODUITS						
* Produit / ha						
- Paddy	Kg	115	4 000	460 000	6 000	690 000
- Paille	Kg	10	4 000	40 000	6 000	60 000
Total produits				500 000		750 000
Marge nette /Ha				- 137 427	-	+ 60 000
Marge nette / Kg				- 34	-	+ 10

Figure 16 : Comptes d'exploitation d'un ha de riz irrigué dans un petit périmètre (par pompage). In Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, 2004.

ANNEXE 3 : GRILLE D'ANALYSE POUR LES PETITS BARRAGES

PRINCIPAUX IMPACTS POSITIFS	PRINCIPAUX IMPACTS NÉGATIFS
À L'ÉCHELLE LOCALE DES « INDIVIDUS RÉSERVOIRS »	
Implantation	
demande des populations riveraines	ennoiment de terres cultivables
approches participatives	manque d'entretien, dégradation et risques de rupture
Usages domestiques	
accès à l'eau sécurisé	population cible en terme de bilharzioses
aires récréatives	autres maladies hydriques (diarrhées)
Pêche	
exploitation de ressources locales	surexploitation et éventuels déséquilibres écologiques associés
contrôle de l'accès à la ressource	précarité des exploitants pêcheurs
rente payée directement par les pêcheurs	inéquité de la redistribution à l'échelle villageoise
protéines à l'échelle villageoise	population cible en terme de bilharzioses
Pastoralisme	
fertilisation organique	surpâturage et érosion
lait à l'échelle villageoise	enrichissements organiques excessifs et risques d'eutrophisation
traction animale	conflits agriculteurs pasteurs (accès à l'eau ; dégâts de cultures)
Cultures irriguées	
diversification des activités	conflits liés à l'accès à l'eau (troupeaux)
productions vivrières à l'échelle villageoise	xénobiotiques, engrais et pollutions des écosystèmes aquatiques
entrée monétaire	régime foncier et exclusion à l'intérieur des communautés
émancipation des « cadets sociaux »	réticences sociales ; population cible en terme de bilharzioses
À L'ÉCHELLE RÉGIONALE D'UN « ENSEMBLE DE RÉSERVOIRS »	
Implantations	
approche raisonnée : Gestion intégrée des ressources en eau	nécessité d'adaptation des appareils de décision pour faciliter l'insertion institutionnelle de cette approche
approche raisonnée : Aménagement du territoire	nécessité de reconnaissance du rôle et de l'impact de ces « outils d'aménagement du territoire »
Diversification des activités	
production de protéines et de monétaire	accès sélectif à l'intérieur des communautés et entre elles
stimulation des relations campagnes-villes	impact mal connu en terme d'amélioration des conditions de vie et de lutte contre la pauvreté
nouvelles interactions régionales (productions comme producteurs)	mauvais contrôle voire inéquité des échanges
spécialisations régionales	insécurité des filières ; vulnérabilité en situation de crise (climatique, politique ou autre)
Densification des réservoirs	
augmentation des capacités de stockage de l'eau	impact en terme de régime hydrologique (écoulements, eaux souterraines) voire de climats locaux
amélioration de la productivité de l'eau	aggravation des impacts en cas de rupture (réservoirs en cascade)
augmentation des surfaces en eau	coût de l'évaporation en regard des bénéfices escomptés
émergence de nouveaux <i>hot spots</i> économiques	dispersion et éventuelle intensification des risques associés aux petits barrages
attractivité	conflits d'usages et d'intérêts ; exclusions

Figure 17 : Grille d'analyse pour les petits barrages de Côte d'Ivoire, IN Cecchi et al. 2007.