

La technologie « Horti-aquacole de valorisation des eaux souterraines » comme innovation agricole d'adaptation au changement climatique

BOUDA Sana¹

Résumé

L'efficacité et l'efficacité des systèmes traditionnels d'aquaculture tels que les étangs, les cages et les enclos sont limitées par les déficits d'eau et les extrêmes climatiques et hydrologiques dans le sahel en général et au Burkina Faso en particulier. Les effets du changement climatique, en exacerbant ces aléas vont davantage affecter ces systèmes de production aquacole. Il s'avère dès lors nécessaire de développer des systèmes qui s'adapteront à ces facteurs pour assurer des productions durables. L'objet de la présente étude est de déterminer un système aquacole intégré à l'horticulture qui soit résilient aux effets du changement climatique tout en ajoutant de la valeur à l'eau souterraine utilisée pour l'irrigation. Des analyses spécifiques des effets directs des divers facteurs climatiques sur les structures et les processus d'exploitation des systèmes traditionnels d'aquaculture ont d'abord été conduites. L'approche production intégrée a ensuite été prise en compte, pour aboutir à une invention technologique innovante qui vise l'adaptation au changement climatique : il s'agit du « système horti-aquacole de valorisation des eaux souterraines ». Ce système intègre l'aquaculture à l'exploitation horticole utilisant déjà l'eau souterraine. Cette technologie permet d'élever la valeur économique de l'eau et d'assurer une production aquacole à coût réduit. Elle présente par ailleurs les avantages, d'être pro-environnemental et résilient tout en assurant l'intensification et la diversification des productions. Elle contribue finalement à la résilience des producteurs aux effets du changement climatique.

Mots clefs : Changement climatique, horticulture, aquaculture.

Horti-Aquaculture Technology for efficient use of underground water as agricultural innovation to face climate change

Abstract

Efficiency and effectiveness of traditional aquaculture systems such as ponds, cages and enclosures are limited by deficit of water and by climatic and hydrological extremes in Sahel in general and particularly in Burkina Faso. Climate change effects, by exacerbating these uncertainties will further affect these systems of aquaculture production. It is therefore necessary to develop systems that adapt to these factors to ensure sustainable and resilient production. This study aims to determine a resilient aquaculture system that integrates to agriculture while increasing underground water used for plants irrigation. We first analyzed direct effects of various factors on structures and use processes of traditional systems. Then, integrated approach of production has been considered to determine, an innovative technological invention which aims to adaptation: this is "Horti-Aquaculture system for efficient use of groundwater". Such aqua-

¹ Assistant technique AQUABOOST sarl, 09 BP 726 Ouagadougou 09, Burkina Faso, Email : sanabouda@yahoo.fr

culture system integrates existing horticulture system already using the groundwater. This technology allows to raise economic value of water and ensure an aquaculture production at reduced cost. It also presents the benefits, to be pro-environmental and resilient while ensuring the intensification and diversification of production. It finally contributes to the resilience of producers to climate change.

Keywords: climate change, aquaculture, horticulture.

Introduction

La FAO a rapporté en 2014 qu'au niveau global, les ressources de pêche de capture sont pour la plupart en état de surexploitation, et les productions halieutiques sont en stagnation. A l'opposé, elle a confirmé la croissance annuelle moyenne de 9 % amorcée depuis les 3 dernières décennies par la production aquacole. En effet, l'aquaculture fournissait alors, près de 50 % du poisson, tandis qu'elle en fournissait moins de 5 % dans les années 80.

Les tendances indiquent que l'aquaculture sera la source majeure du poisson consommé dans les prochaines décennies (FAO, 2014). Durcker, (2002), prévoyait déjà qu'elle ferait avec la biotechnologie l'objet des 2 prochaines révolutions technologiques après celle des techniques de l'information et de la communication.

Cependant, au niveau du Burkina Faso, les statistiques officielles indiquent que les espaces de pêche et leurs productions augmentent encore, consécutivement à des réalisations de nouveaux lacs de barrages artificiels (DGRH, 2010 ; DGPA 2012 ; DGRH, 2013), mais le potentiel de pêche et les productions ne couvrent pas encore la demande nationale en poisson. L'aquaculture n'y est pas encore développée malgré d'énormes potentialités (FAO, 2007 ; Brummet *et al.*, 2008 ; MRAH, 2013b), et un important marché national (DGPA, 2012). En conséquence de cette insuffisance, le Burkina Faso a importé en 2012 plus des trois quarts du poisson consommé soit 67956 tonnes sur 90026 tonnes, selon ces statistiques officielles.

En fait, les systèmes aquacoles ordinaires utilisés tels que les étangs, les enclos et les cages, efficaces et efficaces dans bien de pays (FAO, 2012), le sont moins au Burkina Faso. En effet, les conditions climatiques, hydrologiques et limnologiques n'y sont pas toujours favorables à ces systèmes de productions de poisson (TRAORÉ *et al.* (1994) ; BAIJOT *et al.*, (1994) ; MOREAU, *et al.* (1994)). Les changements climatiques, en exacerbant les extrêmes et les instabilités des sécheresses, des inondations, des vents violents et des températures (De SILVA et SOTO, 2009 ; DAW *et al.*, 2009 ; ROTA, 2012 ; WITTET et WAIBEL, 2009 ; WILLIAMS et ROTA, 2012), vont davantage entraver les rendements de ces systèmes. Le développement de stratégies d'adaptation et/ou d'atténuation s'avère dès lors indispensable pour assurer une production aquacole nationale consistante et durable.

L'horticulture en générale et le maraichage en particulier est en pleine croissance dans le Sahel en général (De BON *et al.*, 2010) y compris au Burkina Faso (Easypol, 2007). Cette activité se développe notamment dans les zones périurbaines et constitue une source d'emplois pour les jeunes et les femmes au Burkina Faso en saisons sèches. Les forages sont utilisées comme sources majeures de l'eau d'irrigation autour de plusieurs villes selon Easypol (2007).

En termes de consommation d'eau, 9 litres par mètre carré et par jour sont préconisés pour la culture de carotte au Sénégal (Programme d'aménagement et de développement économiques de Niayes (non daté). Laouali *et al.* (2017) estiment à entre 15 et 35 litres par jour, les besoins d'un mètre carré de laitue dans la région de Zinder.

A partir d'une analyse spécifique des effets directs des divers facteurs sur les structures et sur les processus d'exploitation des systèmes traditionnels, puis en prenant en considération les défis écologiques et l'approche production intégrée, une invention technologique innovante qui vise l'adaptation est proposée ; il s'agit du « système horti-aquacole de valorisation des eaux souterraines ». En intégrant l'aquaculture à l'exploitation horticole utilisant déjà l'eau souterraine, cette technologie permet d'élever la rentabilité économique de l'eau et d'assurer une production aquacole à cout réduit. Elle présente par ailleurs les avantages, d'être pro-environnemental et résilient tout en assurant l'intensification et la diversification des productions. Elle contribue finalement à la résilience des producteurs aux changements climatiques.

I. Méthodologie

L'aquaculture est le secteur agricole qui offre la plus grande variété de systèmes de production. Aussi bien les eaux douces que les eaux marines ou celles saumâtres sont des environnements de production aquacole. Les structures d'élevage se retrouvent aussi bien dans l'eau (cages ; enclos, parcs...) que sur la terre ferme (étangs, bassins, silos, aquariums...) ; elles peuvent par ailleurs être installées à l'air libre, dans des serres ou dans des enceintes de bâtiments. Les sources d'eau vont de celles de surface à celles souterraines en passant par les eaux de robinet, les eaux usées industrielles ou urbaines etc. Les systèmes d'exploitation vont de l'extensif à l'hyper-intensif. Au total, le nombre de degrés de liberté pour la mise en œuvre d'un système de production aquacole est élevé et tout l'art consiste à mettre en œuvre le bon système dans le bon environnement.

Une revue bibliographique a permis d'identifier les systèmes ordinaires d'aquaculture utilisés au Burkina Faso et les effets climatiques et hydrologiques pour lesquels ces systèmes sont sensibles et/ou le seront du fait des effets futurs du changement climatique. Des analyses à l'aide de matrices de sensibilité, ont permis dans un premier temps d'apprécier au cas par cas les sensibilités de ces systèmes face aux évènements climatiques. Ces premières analyses ont permis d'identifier les plus résilients parmi ces systèmes. Dans un deuxième temps, ces derniers ont fait l'objet d'analyse de sensibilité de leurs infrastructures et des processus de leur utilisation face aux défis environnementaux et énergétiques d'une part, et d'autre part, face aux défis de gestion des ressources naturelles. Ces dernières analyses ont permis de retenir le système le plus écologique et d'identifier les innovations à apporter pour finalement proposer un produit qui réponde autant que possible aux divers défis.

Ce système assure une valorisation économique et écologique de l'eau potable utilisée dans les productions horticoles pour une production aquacole rentable et résiliente dans un contexte de changements climatiques.

Il consiste en des aquaria (bacs de vie de poisson) alimentés en eaux de forage ou en eaux municipales oxygénées et dégazées par une plateforme de traitement ; les eaux de vidange de ces bacs sont conduites via un bac de drainage vers des bassins de décantation puis dans des sillons d'irrigation des végétaux ou vers des bio-filtres pour être recyclées et renvoyées dans les aquaria.

Les renouvellements de l'eau et l'assainissement des structures sont assurés par gravité et par des systèmes de trop-plein, permettant ainsi des productions aquacoles intensives et même hyper-intensives. Les eaux de vidange, alors chargées des fertilisants dont notamment des nitrates, sont

conduites aux plantes.

II. Résultats

2.1. Sensibilité des systèmes d'aquacultures étudiés face aux effets du changement climatique

Le tableau 1 présente les analyses de sensibilité des systèmes aquacoles ordinaires utilisés au Burkina Faso face aux événements climatiques et hydrologiques et à leurs évolutions dans le contexte du changement climatique.

Les étangs, les enclos, et les cages ne sont pas sensibles aux températures. En effet, les augmentations de 2 degrés Celsius prévisibles à moyen terme à la suite du changement climatique dans les zones tropicales ne chaufferont de manière critique les habitats des poissons. En revanche, les bassins cimentés le sont déjà du fait de la thermo-sensibilité du matériau (ciment), et des dimensions réduites des structures. En effet les parois bétonnées des bassins tendent à s'échauffer ou à se refroidir en corrélation avec la température ambiante. Les températures de l'eau des bassins circulaires de moins de 9 m³, montent à plus de 35 degrés Celsius aux mois d'avril à juin dans le centre du Burkina Faso.

Les cages et les enclos sont sensibles aux événements climatiques, notamment les sécheresses, les inondations, et les vents violents, à l'exception de l'augmentation des températures de 2 degrés Celsius. Ils seront davantage impactés par les évolutions de ces phénomènes à la suite du changement climatique.

Les systèmes basés sur la terre ferme (étangs et bassins cimentés) sont relativement résilients aux vents violents et aux irrégularités pluviométriques même en cas d'exacerbation de ceux-ci à la suite du changement climatique. Les sécheresses prolongées peuvent cependant compromettre leurs exploitations.

Les étangs sont sensibles aux inondations car ils sont généralement en partie excavés à l'opposé des bassins en ciment généralement construits hors sol.

Il résulte des analyses contenues dans le tableau 1, que les étangs et les bassins en ciment seront plus résilients que les enclos et les cages face aux effets du changement climatique.

2.2. Sensibilité des étangs et des bassins face aux défis environnementaux et énergétiques

Le tableau 2 montre que la mise en place des infrastructures des bassins en ciment, et davantage celle des étangs, sont susceptibles d'engendrer d'une part, de façon importante des pollutions chimiques dues aux engins et aux travailleurs et d'autre part, de la désertification. Il montre également que la mise en place des bassins et des étangs peut aboutir à réduire les capacités des espaces utilisés à séquestrer le carbone à la suite de la défriche. Elle peut constituer également une source d'utilisation d'énergie fossile.

Les processus d'exploitation des étangs et des bassins peuvent être consommateurs d'énergie ; ils peuvent par ailleurs générer des polluants lorsqu'ils sont intensifs, par le fort renouvellement de l'eau, le développement algal est limité et avec, la séquestration du gaz carbonique qui contri-

buerait à la protection de la couche d'ozone.

2.3. Sensibilité des étangs et des bassins face aux défis de gestion des ressources naturelles

Le tableau 3 indique que la mise en place des bassins en ciment, et davantage celle des étangs, peuvent nécessiter d'importantes terres et la destruction d'arbres. Les processus quant à eux peuvent être sources de consommation importante d'eau.

2.4. Le système aquacole résultant : le système horti-aquacole

Le système horti-aquacole proposé est le résultat des innovations apportées au système bassin en ciment qui présente moins de risques écologiques que le système étangs. Ces innovations ont abouti à un produit nommé « système horti-aquacole de valorisation des eaux souterraines ».

2.4.1. Définition du système horti-aquacole proposé

Le système horti-aquacole ici proposé se définit comme un Système Intégré Agriculture-Aquaculture dans lequel l'aquaculture est « greffée » à une horticulture existante. Il est caractérisé par le fait que l'aquaculture profite exclusivement de l'eau destinée à l'horticulture qu'elle enrichit en nutriments divers en faveur des plantes. En effet, le système utilise mais ne consomme pas d'eau au-delà des évapotranspirations induites. Du point de vue économique, l'eau ne constitue pas une charge du sous-système aquacole. Ce système horti-aquacole se distingue notamment des systèmes aqua-horticoles où l'on « grefferait » plutôt une installation horticole à une installation aquacole préétablie.

2.4.2. Description et principes de la technologie horti-aquacole



Photo 1. Etangs et bassins installés à Bagré de 2006 à 2010 par la Coopération taiwanaise sous le suivi technique de l'inventeur.



Photo 2. Bassins en ciment en recirculating system, conçus par l'inventeur avec l'appui de Mr Oscar Compaoré, Ingénieur en béton en 2007 et installé au palaisq de la présidence à Ouagadougou.

La technologie proposée est une invention technique innovante fondée sur des principes, des infrastructures, et des processus. Elle se veut à la fois, intégrée à un système agricole, écologique et résiliente aux effets des changements climatiques.

Tableau I. Matrice de sensibilité des systèmes aquacoles ordinaires face aux événements climatiques actuels et face à leurs évolutions du fait du changement climatique.

Systèmes de production aquacole	Evènements					Augmentation des températures
	Irrégularités pluviométriques	Sécheresses et stress hydriques	Inondations	Orages et vents violents		
Structures basées dans l'eau	Cages	++	++	++	++	0/0
	Enclos	++	++	++	++	0/0
Structures basées sur terre ferme	Etangs	0/0	++	0/+	0/0	0/0
	Bassins cimentés	0/0	++	0/0	0/0	+/+

Construit à partir des données de revues bibliographiques et des expériences personnelles de l'auteur

Légende :

++ le système est limité par l'évènement et le sera davantage avec le changement climatique.

0/+ le système n'est pas limité par l'évènement mais le sera avec le changement climatique.

0/0 le système n'est pas limité par l'évènement et ne le sera pas avec le changement climatique.

Tableau II. Matrice de sensibilité des structures et des processus des étangs et des bassins face aux défis environnementaux et énergétiques.

Systèmes de Productions aquacoles	Evènements				Energie
	Pollutions	Réduction de la séquestration carbone	Désertification		
Etangs et bassins cimentés	Mise en place de l'infrastructure	Les travaux d'installation peuvent générer des pollutions importantes	La destruction du couvert végétal peut être importante notamment pour les étangs qui nécessitent plus d'espace	La destruction du couvert végétal peut être importante notamment pour les étangs qui nécessitent plus d'espace	L'utilisation de l'énergie fossile peut être importante
	Processus d'exploitation	Les rejets de polluants peuvent être importants en cas de production intensive	Développement algal réduit en cas de production intensive avec fort renouvellement	Négligeable	Le besoin d'énergie

Tableau III. Matrice de sensibilité des structures et des processus des étangs et des bassins face aux défis de gestion des ressources naturelles.

Systèmes de productions aquacoles	Evènements	Ressource terre	Ressource eau	Ressource forêt
Etangs et bassins cimentés	Mise en place de l'infrastructure	Utilisation de terre pouvant atteindre 4 fois les aires de vie des poissons engendrant ainsi une compétition avec les autres productions agricoles.	Utilisation d'eau non négligeable	La destruction du couvert végétal peut être importante notamment pour les étangs qui nécessitent plus d'espace
	Processus d'exploitation	Négligeable	Utilisation et consommation très importante notamment avec les étangs, en l'absence d'intégration	Négligeable

Construit à partir des données de revues bibliographiques et des expériences personnelles de l'auteur

Construit à partir des données de revues bibliographiques et des expériences personnelles de l'auteur

2.4.3 Les innovations du système horti-aquacole proposé

Par rapport au système bassin en ciment, identifié après les analyses comme l'un des moins sensibles aux effets du changement climatiques, puis estimé plus écologique que le système étang, les innovations suivantes ont été apportées pour aboutir au système horti-aquacole proposé.

Le système proposé est fondamentalement intégré à un système agricole (exploitation horticole) existant alors que les bassins ne le sont pas en général (systèmes dit « stand alone »). De ce fait, l'eau n'est pas consommée au-delà de l'évaporation induite. Elle acquiert plutôt une plus-value pour les plantes par son enrichissement en nutriments que constituent les déchets des poissons. Il assure ainsi une diversification et une intensification des productions.

Par ailleurs, cette intégration permet au système de ne pas rejeter des polluants.

Le système proposé prévoit fondamentalement la combinaison du recyclage-recirculation de l'eau et le système raceway et non l'un ou l'autre employé en général par les bassins. Ceci permet au système d'assurer les fonctions d'intégration tout en assurant des taux de renouvellement de l'eau au niveau des poissons. En conséquence, une plus grande capacité de charge est réalisable par rapport aux bassins pour un débit d'eau identique.

Le système proposé prévoit des dispositifs qui sont positionnés de sorte à assurer les flux d'eau de part et d'autre essentiellement par gravité pour être peu énergivore. Ainsi, par exemple, le bac de recueillement des eaux de vidange reçoit celles-ci par gravité d'où elles sont refoulées également par gravité dans les bacs de décantation et de bio-filtration.

Le système proposé prévoit un dispositif de dégazage et d'oxygénation non consommateur d'énergie.

Le système proposé est portable à l'opposé des bassins en ciment. Il peut être déplacé d'un lieu à l'autre.

Le système utilise préférentiellement le bois comme matériau essentiel, limitant ainsi la thermo-sensibilité des parois des structures comparativement aux bassins cimentés.

III. Discussion

Le système mis au point consiste en l'intégration d'un sous-système aquacole à un système d'irrigation horticole dont la source d'eau est souterraine. Les déchets du sous-système aquacole constituent des nutriments pour les besoins des plantes. En fonction des besoins globaux en eau de l'aire horticole, le taux de renouvellement de celle-ci dans les aquaria peut être optimiser pour y assurer des productions intensives. En plus de sa meilleure résilience par rapport aux systèmes traditionnels d'aquaculture, ce système horti-aquacole valorise ses propres déchets et accroît la rentabilité de l'eau à travers son double usage pour les productions des végétaux et des poissons.

La plupart des systèmes de production aquacole sont très liés et très sensibles aux ressources naturelles et aux facteurs climatiques, hydrologiques et hydrobiologiques. Dans les zones désertiques à déficits d'eau de surface, les systèmes aquacoles en étang qui sont les plus abondam-

ment utilisés à travers le monde, se trouvent souvent contraints par ces déficits (CRESPI et LOVATELLI, 2011 ; APPELBAUM, 1995, 2011). En termes de consommation d'eau, Ngugi *et al.* (2007) estiment entre 1 à 3 m³ d'eau par minute, les besoins d'un ha d'étang. Les systèmes en cage et en enclos sont négativement affectés par la stagnation et les forts écoulements des eaux, les forts marnages, les étiages sévères, l'instabilité des débits, ainsi que par la qualité physico-chimique des eaux de surface notamment la turbidité (BEVERIDGE, 2004 ; Halwart *et al.* 2007). Traoré *et al.*, (1994) et Baijot *et al.* (1994) ont rapportés ces constats au Burkina Faso. Divers travaux, au nombre desquelles ceux de De Silva et Soto (2009), Witt et Waibel (2009) et Williams et Rota (2012) rapportent que les extrêmes climatiques, hydrologiques et limnologiques s'exacerberont notamment dans les pays tropicaux, du fait du changement climatique. En effet l'irrégularité et les variabilités intra et interannuelles des pluies et des vents augmenteront, et avec, l'acuité et la fréquence des orages, des inondations, des sécheresses, des érosions de sol, tandis que les parutions de pestes et de maladies animales s'accroîtront. Ces aléas affecteront davantage l'efficacité et l'efficacités des systèmes ordinaires de production aquacole. Des innovations dans le sens de l'adaptation des systèmes de production sont indispensables. Crespi et Lovatelli, (2011) ont analysé les opportunités et les contraintes du développement de l'aquaculture dans le désert et proposé des solutions qui intègrent des innovations technologiques. Halwart et Dam (2010) rapportent des travaux qui démontrent qu'à travers l'intégration de l'aquaculture aux systèmes agricoles, les producteurs d'Afrique de l'Ouest peuvent arriver à intensifier et à diversifier leurs productions.

L'utilisation des eaux souterraines à des fins d'aquaculture en systèmes intensifs est largement pratiquée dans des zones désertiques américaines et israéliennes. Losordo *et al.*, (1999) ont relevé leur efficacité à produire intensivement le poisson. Elle constitue une opportunité pour développer l'aquaculture au Burkina Faso. En effet, dans les habitations urbaines et périurbaines des zones à longues saisons sans pluie, de l'eau potable (de forage ou de robinet) est souvent utilisée pour l'horticulture. Mieux, on assiste de plus en plus à un développement de fermes dans les zones périurbaines avec des composantes de productions horticoles dont la source d'eau est un forage (eau souterraine) souvent équipé d'un château d'eau au Burkina Faso (EASYPOL, 2007). Cependant, à l'état brut, les eaux souterraines, même lorsqu'elles sont potables pour l'Homme, sont en général, inappropriées pour la vie du poisson. En effet, elles sont toujours déficitaires en oxygène dissout, et ont souvent des teneurs excessives en gaz carbonique, en sulfure d'hydrogène et en ions ferreux (BOYD et TUCKER, 1998). Les eaux municipales quant à elles ont généralement le chlore (eau de javel) en excès pour la vie du poisson (BOYD, 1998). D'où la nécessité de dégazage et d'oxygénation préalables assurés dans le système proposé. L'invention présentée combine, dans les faits, plusieurs systèmes en proposant des aménagements et des dispositifs techniques innovants pour utiliser avec efficacité et efficacité les eaux souterraines initialement destinées exclusivement à l'horticulture.

Conclusion

Le système horti-aquacole proposé dérive des systèmes en bassins cimentés à partir desquels des innovations technologiques sont apportées aux structures et aux principes de fonctionnement. Il se veut une alternative face aux effets du changement climatique qui s'exacerberont mais aussi face aux défis environnementaux et énergétiques et aux défis de gestion durable des ressources naturelles notamment la ressource eau.

Des améliorations pour plus d'efficacité technique, pour une plus longue durée de vie des structures, et pour une meilleure efficacité économique ainsi que des formations conséquentes sont certainement nécessaires pour une meilleure vulgarisation du produit.

Références bibliographiques

APPELBAUM S., 1995. Technology for desert aquaculture. *J. A. L. S.*, 55, pp. 207–210.

APPELBAUM S., Aquaculture experiences in the Negev Desert in Israel. In: Crespi V. & Lovatelli A., editors. *Aquaculture in desert and arid lands: development constraints and opportunities*. 2011. FAO Technical Workshop.6–9 July 2010, Hermosillo, Mexico. FAO. 202 pp.

Aquaculture CRSP Management Office, College of Agricultural Science Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. 95 pp.

BAIJOT E., BOUDA S. et OUÉDRAOGO L., 1994. Etude des conditions physico-chimiques et biologiques des retenues d'eau du Burkina Faso. In : Bajjot, E., Moreau, J. et Bouda, S., editors. *Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne*. Centre de Technique de Coopération Agricole et rurale ; Commission des Communautés Européennes, Bruxelles, pp. 37-61.

BEVERIDGE M., 2004. Cage aquaculture, Third edition. Oxford, UK, Blacwell Publishing Ltd 368 pp.

BOYD C.E. et TUCKER C.S. 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer Academic Publishers, Boston. 711 pp.

BRUMMET R, LAZARD J, et MOEHL J., 2008. African aquaculture: Realizing the potential. *Food policy* 2008; 33: pp. 371-385.

CRESPI V.; LOVATELLI A., 2011. Aquaculture in desert and arid lands: development constraints and opportunities. FAO Technical Workshop.6–9 July 2010, Hermosillo, Mexico. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 20. Rome, FAO. 2011. 202 pp.

DAW T.; ADGER W.N., BROWN K.ET BADJECK M.-C. 2009. Climate change and capture fisheries: potential impacts, adaptation and mitigation. In K. Cochrane, C. De Young, D. Soto and T. Bahri (eds). *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.No. 530. Rome, pp.107-150.

DE BON H., PARROT L., MOUSTIER P., 2010, Sustainable urban agriculture in developing countries. A review, *Agronomy for sustainable development*, 30 (1), pp. 21-32.

De SILVA S.S. et SOTO D., 2009. Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. In K. Cochrane, C. De Young, D. Soto and T. Bahri (eds). *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome, FAO. pp. 151-212.

DGPA, 2012. Rapport annuel d'activités. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable Burkina Faso DGRH, 34 p.

DGRH, 2010. Rapport annuel d'activités. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, Burkina Faso, DGRH, 22 p.

DGRH, 2013. Rapport annuel d'activités. Ministère des Ressources Animales et Halieutiques, Burkina Faso. DGRH, 33 p.

Easypol, 2007, Analyse de la filière maraichage au Burkina Faso. Ministère de l'Agriculture de l'hydraulique et des ressources halieutiques, Burkina Faso, 127 p.

FAO, 2007. L'Aquaculture, seul moyen de combler le "déficit de poisson". L'avenir de la pisciculture au cœur d'une réunion ministérielle. Note de synthèse réunion du 19 novembre 2007. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome. www.fao.org/newsroom/fr/news/2007/1000701/index.html

- FAO, 2012.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture en 2010. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome 241 p.
- FAO, 2014.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture en 2012. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome 275 p.
- HALWART M. et VAN DAM, A.A. (eds), 2010.** Intégration de l'irrigation et de l'aquaculture en Afrique de l'Ouest : concepts, pratiques et perspectives d'avenir. Rome, FAO, 199 p.
- HALWART M., SOTO D.; ARTHR J.R. (eds), 2007.** Cage aquaculture - Regional review and global overview. FAO Fisheries Technical Paper No 498. Rome, FAO. 241p.
- LOSORDO T. M., MASSER M. P., RAKOCY J. E., 1999.** Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. A Review of Component Option. SRAC Publication No. 453, 8 p.
- Ministère des Ressources Animales et Halieutiques, 2013a.** Politique Nationale de la Pêche et de l'Aquaculture (PNPA). Burkina Faso, 23 p.
- Ministère des Ressources Animales et Halieutiques, 2013b.** Stratégie Nationale de Développement Durable de pêche et de l'aquaculture à l'horizon 2025. Burkina Faso, 35 p.
- MOREAU J., BAIJOT E. et OUÉDRAOGO M., 1994.** Essais d'estimation globale de la productivité des lacs artificiels sahéliens. In : Baijot, E., Moreau, J. et Bouda, S., editors. Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne. Centre de Technique de Coopération Agricole et rurale ; Commission des Communautés Européennes, Bruxelles, pp. 159-176.
- NGUGI C. C., BOWMAN J. R. et OMOLO B. O., 2007.** A New Guide to Fish Farming in Kenya. Aquaculture CRSP, Oregon, 101 p.
- Programme d'aménagement et de développement économique des niayes (PADEN).** Fiche technique carotte (non daté) 4p.
- SOULEY M. L., TCHOKANAKA A., et OUSMANE S., 2017.** Fiche technico-économique pour la culture de laitue. Région de Zinder. Chambre régionale d'agriculture de Zinder Niger, 3 p.
- TRAORÉ A. C., YUMA J. et ZIGANI N., 1994.** Données géographiques et hydrologiques. In : Baijot, E., Moreau, J. et Bouda, S., editors. Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne. Centre de Technique de Coopération Agricole et rurale ; Commission des Communautés Européennes, Bruxelles, pp. 9-35.
- WILLIAMS L., ROTA A., 2012.** Impact of climate change on fisheries and aquaculture in the developing world and opportunities for adaptation. International Fund for Agricultural Development, Via Paolo di Dono, 44, 00142 Rome, Italy, 20p.
- WITT R. and WAIBEL H., 2009.** Climate Risk and Farming Systems in Rural Cameroon. Institute of Development and Agricultural Economics, Faculty of Economics and Management, Leibniz Universität Hannover, Königsworther Platz 1, 30167 Hannover, Germany Discussion Paper No. 423, 28 p.