

Diversité génétique, Importance et potentiel de production du riz (*Oryza spp.*) sous différents modes de gestion de l'eau dans un contexte de variabilité climatique au Burkina Faso

[Genetic diversity, importance and production potential of rice (*Oryza spp.*) under different water management modes in a context of climatic variability in Burkina Faso]

Dominique Nikiéma¹, Nerbéwendé Sawadogo¹, Kouka Fidèle Tiendrébéogo², Yapi Issoufou Sinaré³, Mamadou Laho Barry⁴, and Moussa Sié³

¹Equipe Génétique et Amélioration des Plantes (EGAP), Laboratoire Biosciences, Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

²Institut Supérieur du Développement Durable, Université de Fada N'Gourma, BP 54, Fada N'Gourma, Burkina Faso

³Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) - Farako-Bâ, Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 01 BP: 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

⁴Institut de Recherche Agronomique de Guinea (IRAG), BP 1523, Guinea

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Burkina Faso, rice is of great importance in terms of consumption and cultivated area. It is the fourth most important cereal crop in terms of area, production and annual per capita consumption. Despite persistently low and almost static yields, demand for rice continues to grow due to high population growth and changing dietary habits. The basic system of local rice production is monoculture in a single annual season for rainfed and lowland rice and in a double annual season for irrigated rice. Irrigated rice is the most efficient rice production method with total control of water supply. However, rice production in Burkina Faso is faced with multiple abiotic and biotic constraints that cause significant yield reductions. Indeed, climatic variability remains one of the most important factors. Like the rest of the Sudano-Sahelian zone, Burkina Faso is subject to climatic hazards, of which the decline and poor spatial-temporal distribution of rainfall has become the main obstacle to rice production. Thus, in a context where the effects of climate change are increasingly perceptible, it is becoming imperative to adopt more efficient varieties and cultivation practices that ensure good water nutrition for the plants. To cope with this situation, an efficient irrigation system is needed to secure and stabilize crops. This situation calls for a careful use of water in agriculture. This review highlights the genetic diversity of rice, its importance, constraints and different rice production systems as well as innovative methods to boost local rice production in the future.

KEYWORDS: Burkina Faso, Genetic diversity, Irrigation, Rice, Rice growing.

RESUME: Au Burkina Faso, le riz est d'une grande importance en termes de consommation et de superficie cultivée. Il constitue la quatrième culture céréalière tant du point de vue des superficies, de la production que de la consommation annuelle par tête. Malgré des rendements toujours faibles et quasi stationnaires, la demande de riz continue de croître en raison de la forte croissance démographique et des changements d'habitudes alimentaires. Le système de base de la production locale du riz est la monoculture en une seule campagne annuelle en riziculture pluviale et de bas-fonds et en une double campagne annuelle en riziculture irriguée. La riziculture irriguée est le mode de production du riz le plus performant avec maîtrise totale de

l'alimentation en eau. Cependant, la production du riz au Burkina Faso est confrontée à de multiples contraintes d'ordre abiotique et biotique qui causent d'importantes baisses de rendements. En effet, la variabilité climatique, demeure l'un des plus déterminants. A l'instar du reste de la zone soudano-sahélienne, le Burkina Faso est soumis aux aléas climatiques dont la baisse et la mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviométrie est devenue le principal obstacle à la production de riz. Ainsi, dans un contexte où les effets du changement climatique sont de plus en plus perceptibles, il devient impératif d'adopter des variétés plus performantes et des pratiques culturales qui assurent aux plantes une bonne nutrition hydrique. Pour faire face à cette situation, un système d'irrigation efficace est nécessaire pour garantir et stabiliser les récoltes. Cette situation nécessite une utilisation réfléchie de l'eau en agriculture. Cette revue met en lumière la diversité génétique du riz, son importance, les contraintes et les différents systèmes de production de riz ainsi que de méthodes innovantes pour booster la production locale du riz dans l'avenir.

MOTS-CLEFS: Burkina Faso, Diversité génétique, Irrigation, Riz, Riziculture.

1 INTRODUCTION

Le riz occupe une place importante dans l'alimentation humaine et nourrit plus de la moitié de la population globale [1]. C'est la première céréale dans l'alimentation humaine au monde et la deuxième céréale mondiale après le maïs en termes de production et de superficies emblavées [1]. Elle est une céréale importante en termes de consommation intérieure dans de nombreux pays du monde. Le riz, longtemps considéré comme l'aliment de base des pays asiatiques, est devenu l'une des denrées les plus demandées par les ménages africains. Plus que la production, la demande en riz des pays africains connaît une augmentation très importante. En effet, la consommation augmente plus rapidement que pour tout autre produit de base majeure sur le continent du fait de la croissance démographique importante, de l'urbanisation rapide et de l'évolution des habitudes alimentaires [2]. Cette demande croît en Afrique de l'Ouest au taux de 6 % par an, plus que la croissance démographique et plus vite nulle part ailleurs au monde [3] alors que la production intérieure ne couvre qu'environ 60 % de la demande des populations. Au Burkina Faso, le riz est d'une grande importance en termes de consommation et de superficie cultivée. En effet, aliment de base pour la plupart des régions du pays, Il représente, par ordre d'importance, la quatrième culture céréalière au Burkina Faso, tant du point de vue des superficies, de la production que de la consommation annuelle par tête [4]. Le gouvernement burkinabè a consenti plusieurs efforts dans l'aménagement de périmètres en vue de développer la culture du riz (de 80156 ha en 2009 à 160949 ha en 2019). Ainsi, la production nationale passait donc de 195102 tonnes en 2009 à 350392 tonnes en 2019 [5]. Malheureusement, cette augmentation n'est pas liée à celle du rendement qui a presque stagné au cours de la même période avec une moyenne de 2 tonnes/ha [6]. Pourtant le rendement potentiel des variétés est estimé à plus de 7 tonnes/ha [7]. La production nationale de riz ne couvre que 30 % des besoins de consommation de la population [8]. Dès lors, un recours aux importations s'est imposé pour combler le déficit. Cela occasionne d'importantes sorties de devises chiffrées à 69252,6 millions de FCFA en 2019 [9].

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les faibles rendements parmi lesquels on note la variabilité climatique [10]. Cependant, à l'instar du reste de la zone soudano-sahélienne, le Burkina Faso est soumis aux aléas climatiques dont la baisse et la mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviométrie ont une conséquence sur l'hydrologie des périmètres aménagés; ce qui rend leur exploitation peu efficace. Aussi, Avec la diminution des ressources en eau et l'augmentation de la consommation d'eau non agricole d'année en année dans les périmètres irrigués, le manque de ressources en eau est devenu le premier obstacle affectant la production de riz. Chaque jour, l'extension des centres urbains et l'expansion des utilisations industrielles non loin des périmètres aménagés exercent une pression de plus en plus forte sur la qualité des ressources en eau. En outre, l'indisponibilité de l'irrigation est une cause majeure de la réduction du rendement et même de la perte totale de rendement dans la production de riz, en particulier pour la saison sèche de janvier à mai dans les périmètres aménagés. Cette variabilité du climat au cours de ces dernières décennies a montré la grande vulnérabilité des systèmes de production se traduisant par des répercussions importantes sur les récoltes et les conditions de vie des populations rurales [11]. La culture du riz recommande des quantités d'eau importantes pour son développement et pour sa croissance afin d'assurer un rendement optimal. Les techniques agricoles traditionnelles sont confrontées au changement climatique sous la forme de pluies réduites, de températures plus chaudes, de désertification [12]. Par conséquent, un système d'irrigation efficace est nécessaire pour garantir et stabiliser les récoltes. Cette situation nécessite une utilisation réfléchie de l'eau en agriculture. Il devient impératif d'adopter des pratiques culturales qui assurent aux cultures une bonne nutrition hydrique avec une maîtrise totale de l'eau. Dans un tel contexte, des technologies émergentes de l'irrigation sont de plus en plus pratiquées. L'augmentation de la productivité agricole passe également par le développement de l'irrigation qui est un moyen d'intensifier l'agriculture. La présente étude donne un aperçu des connaissances sur le riz ainsi que de la typologie de production de cette céréale au Burkina

Faso. Après un bref historique de l'irrigation au Burkina Faso, nous présenterons la diversité actuelle des systèmes de culture du riz. De plus, nous ferons une synthèse sur d'autres méthodes innovantes pour la production du riz, de manière à fournir une base théorique pour la culture du riz plus économe en eau par l'application conjointe de l'économie d'eau et l'augmentation et la stabilisation du rendement.

2 DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE DU RIZ

La diversité génétique est la variabilité qui existe au niveau des gènes ou des associations de gènes (génotypes). Elle peut se définir tant sur le plan des allèles qui fixent les traits caractéristiques, par exemple la capacité ou l'incapacité à métaboliser telle ou telle substance, que sur des unités plus vastes telles que des associations de gènes (haplotypes) ou des génotypes [13]. La diversité génétique est la "matière première" qui permet l'évolution des espèces et donc leur adaptation. Plus une population ou une espèce est diversifiée sur le plan des gènes, plus elle a des chances que certains de ses membres arrivent à s'adapter aux modifications survenant dans l'environnement. La structuration en nombreuses sous-populations est un moyen de maintenir une importante diversité sur l'ensemble des sous-populations, car, bien que la dérive génétique agisse dans chacune des sous-populations, ce ne seront pas les mêmes allèles qui seront perdus ou fixés [14]. Le maintien de la diversité, en particulier moléculaire, dans un système compartimenté n'est donc pas, loin s'en faut, uniquement dû à la sélection et à l'adaptation. Pour ce qui est des plantes cultivées, la diversité génétique est façonnée, en plus de facteurs biophysiques par une large palette de facteurs anthropiques. Les pratiques de gestion des variétés et des semences, par exemple, jouent un rôle important [15]. La réduction de la diversité génétique de la population ou de l'espèce considérée amène à l'uniformisation. Cette uniformisation se présente comme une faiblesse parce que les individus membres du groupe qui deviennent de plus en plus semblables les uns aux autres auront des difficultés à s'ajuster à des conditions de vie différentes.

En effet, le riz jouit de l'extraordinaire capacité d'adaptation et d'un large panel de variétés cultivées, lui permettant d'être présent dans des conditions climatiques très diverses, allant du climat tropical humide d'Asie du Sud-Est au climat sec d'Afrique de l'Ouest [16]. Il existe de nombreuses variétés cultivées avec une distinction forte entre celles d'Afrique et celles du reste du monde. Le riz compte 24 espèces avec plus de 150000 variétés [17] dont seulement deux sont cultivées à savoir: *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud. [18]. Cette diversité provient de croisements naturels de *O. sativa* avec des formes sauvages ou adventices (*O. rufipogon*) ou de croisements intra-*sativa* combinés à la sélection naturelle et humaine depuis la domestication [19].

L'Afrique est le seul continent où ces deux espèces de riz sont cultivées. *Oryza glaberrima*, d'origine africaine, présente d'importants traits caractéristiques qui lui permettent de résister aux stress biotiques et abiotiques. *Oryza glaberrima* se distingue facilement du riz asiatique par une ligule courte et tronquée et par une panicule dressée. Elle comporte deux agroécotypes: un type précoce et insensible à la photopériode qui est cultivé en pluvial ou en zone de bas-fond modérément inondée et un type flottant et photosensible, cultivé dans les plaines inondables [20]. Elle est reconnue comme une ressource génétique intéressante pour élargir l'adaptation des variétés dans les écosystèmes de riz en Afrique et pour augmenter la diversité génétique du riz asiatique *Oryza sativa* [21]. *Oryza sativa* a par contre qui est d'origine asiatique et introduite en Afrique, il y a 1500 ans [22] se caractérise par une ligule longue et bifide avec une panicule légèrement retombante à maturité [23]. En Asie, les riziculteurs cultivent exclusivement l'espèce *O. sativa* qui couvre la très large majorité de la surface rizicole mondiale, et au sein de laquelle communément deux sous espèces sont distinguées: *O. sativa japonica*, originaire du Japon et *O. sativa indica* originaire d'Inde. La sous-espèce *indica* se caractérise par un fort tallage, des grains longs et fins. Il s'adapte mieux à la riziculture aquatique [16]. Par contre, la sous-espèce *japonica* adaptée à la riziculture pluviale [24] et très vulnérable aux stress se distingue par son tallage moyen, ses grains courts et ronds. Les variétés de cette sous-espèce sont exigeantes en fertilisants avec un potentiel de rendement élevé. Elle remplace progressivement *Oryza glaberrima* en Afrique [23].

De nos jours, l'espèce asiatique *O. sativa* est beaucoup plus cultivée du fait de son fort potentiel de rendement et de ses caractéristiques gustatives plus appréciées [25]. Le riz africain *O. glaberrima* n'est cultivé que dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest pour être utilisé dans des pratiques rituelles et en médecine traditionnelle [26]. L'espèce *Oryza glaberrima* est utilisée pour l'amélioration du riz cultivé appelé le NERICA (New Rice for Africa) qui est une lignée issue du croisement entre *Oryza glaberrima* et *Oryza sativa*. Le NERICA est devenu une référence car elle a permis à beaucoup de pays africains de sortir de la pauvreté [27]. Le NERICA combine la rusticité de *Oryza glaberrima* et la productivité de *Oryza sativa*. Les hybrides interspécifiques issus de ce croisement héritent les avantages des deux parents [28].

3 AMÉLIORATION VARIÉTALE DU RIZ

L'amélioration variétale a pour objectif de mettre à la disposition des producteurs des variétés améliorées qui peuvent permettre l'accroissement de la productivité. L'amélioration des plantes peut être définie comme la modification volontaire des plantes par l'homme pour mieux les adapter à ses besoins. [29]. Du point de vue génétique, elle correspond à l'ensemble des opérations qui permettent de passer d'un groupe d'individus n'ayant pas certaines caractéristiques recherchées à un nouveau groupe plus reproductible apportant un progrès. Les variétés de riz cultivées sont diploïdes ($2n = 24$) et autogames [30]. Le riz est la céréale qui a le plus petit génome (430 millions de bases) et qui se prête le plus facilement à des manipulations génétiques [31]. C'est pourquoi il est utilisé par les généticiens comme plante modèle [32]. Le génome du riz présente des similitudes importantes et une forte colinéarité avec les autres monocotylédones, et l'alignement de marqueurs moléculaires est conservé sur de grandes régions chromosomiques [31]. Ce phénomène, nommé synténie, fait du riz un bon modèle servant de base à la génomique comparative au sein de la famille des graminées [33]. Le statut de « plante modèle » du riz est en outre conforté par l'existence de nombreuses ressources disponibles pour l'approche génomique, dont des cartes génétiques et des techniques de transformation génétique par *Agrobacterium tumefaciens*. [33]. De nos jours, nombreuses sont les méthodes employées pour la création variétale du riz dont les principales sont l'hybridation, la mutagenèse et les biotechnologies (androgenèse, gynogenèse, sauvetage d'embryons, fusion des protoplastes). La plus simple, consiste à faire des tests multi-locaux des variétés existantes afin de déterminer leur adaptabilité. Il est également possible de procéder à une sélection massale parmi des descendants de variétés existantes, des individus présentant des caractères d'intérêt. Au Burkina Faso, le programme riz de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) a mis au point plusieurs variétés adaptées à la riziculture pluviale et à la riziculture de bas-fond/irriguée. L'INERA en collaboration avec AfricaRice a eu à entreprendre un certain nombre de croisements interspécifiques (*O. sativa* × *O. glaberrima*) et des croisements intraspécifiques (*O. sativa* × *O. sativa*). Les travaux de création des variétés interspécifiques (*O. sativa* × *O. glaberrima*) ont été entamés par le Centre du Riz pour l'Afrique (AfricaRice) sur la base de la combinaison de la résistance du riz africain aux contraintes locales (en Afrique de l'Ouest et du Centre), avec le fort potentiel de rendement du riz asiatique [21]. Ces travaux ont abouti à la création d'une génération de variétés performantes de riz dénommée NERICA (New Rice of Africa). Le NERICA a également hérité la résistance à la sécheresse et aux nuisibles. Il pousse mieux sur les sols acides et infertiles [34]. Les premières variétés NERICA ont été créées par le Centre de Riz pour l'Afrique (AfricaRice) en 1995 pour la riziculture pluviale. Celles adaptées à la riziculture de bas-fond et irriguée furent créées par l'INERA du Burkina Faso. Sept variétés NERICA ont été mises au point par l'INERA entre 1999 et 2005. Quatre d'entre elles sont bien adaptées à la riziculture de bas-fond et irriguée (FKR 56N, FKR 58N, FKR 60N et FKR 62N) tandis que les trois autres variétés sont bien adaptées à la riziculture pluviale stricte (FKR 45N, FKR 47N et FKR 49N). Au niveau national, 43 variétés de riz sont recensées dans le répertoire national (Catalogue nationale, 2014). Ce sont des variétés ayant un cycle compris entre 95 et 120 jours avec des rendements en zone favorable de 3 à 7 tonnes à l'hectare. Au Burkina Faso, les principales variétés de riz cultivées sont les variétés FKR19, FKR60N, FKR62N, TS2, FKR84 et FKR64 et ITA123 adaptées à la riziculture irriguée [35], [36]. En riziculture pluviale stricte les variétés utilisées sont principalement les variétés FKR 45N, FKR43N, FKR47N, FKR49N, ... [28]. Les grands pays producteurs de riz sont les pays asiatiques notamment le Bangladesh, l'Inde, le Pakistan, la Thaïlande, le Vietnam, la Chine continentale et l'Indonésie. Ils sont également les principaux consommateurs [37]. Les principales régions d'intense activité rizicole en Afrique sont ses zones Ouest et Est qui assurent près de 95 % de la production rizicole [38]. Au Burkina Faso, quatre grandes zones de production se dégagent, il s'agit des régions du Centre-Est, des Hauts-Bassins, des Cascades et de la Boucle du Mouhoun.

4 VALEUR NUTRITIONNELLE

La composition du riz et de ses diverses fractions d'usinage montre que le riz est riche en énergie et contient des protéines. Le riz contient aussi de la thiamine, de la riboflavine, de la niacine, de la vitamine E et d'autres nutriments. Le riz ne contient pas de vitamines C, D ni A (tableau 1). Le riz représente la principale source de protéines pour plus de 2,5 milliards de personnes dans les pays en voie de développement [39]. Il se distingue des autres céréales par sa teneur élevée en glutélines (solubles dans les bases diluées) et faibles en prolamines (solubles dans les solutions alcooliques) [25].

Tableau 1. Teneurs en éléments nutritifs évaluées dans 100g de riz cuit

Nom des constituants (unités)		Teneurs moyennes
Énergie (Kcal)		130
Eau (g)		70,4
Substances nutritives	Protéines (g)	2,8
	Glucides (g)	28,8
	Sucres (g)	0,11
	Amidon (g)	28,7
	Lipides (g)	0,37
Acides gras	Saturés (g)	0,07
	Monoinsaturés (g)	0,07
	Polyinsaturés (g)	0,09
Fibres alimentaires (g)		0,9
Minéraux et oligoéléments	Sodium (mg)	2
	Magnésium (mg)	9
	Phosphore (mg)	55
	Potassium (mg)	56
	Calcium (mg)	19
	Manganèse (mg)	0,35
	Sélénium (µg)	8,2
Métaux	Fer total (mg)	0,24
	Cuivre (mg)	0,07
	Zinc (mg)	0,37
Iode (µg)		5
Rétinol (µg)		0
Bêta-carotène (µg)		0
Les vitamines	B1 ou Thiamine (mg)	0,07
	B2 ou Riboflavine (mg)	0,01
	B3 ou PP ou Niacine (mg)	2,31
	B5 ou Acide pantothénique (mg)	0,32
	B6 ou Pyridoxine (mg)	0,15
	B9 ou Folates totaux (µg)	4
	B12 ou Cobalamines (µg)	0
	C (mg)	0
	D (µg)	0
Activité vitaminique E (=alpha-tocophérol) (mg)		0

Source: (ANSES, 2008)

5 IMPORTANCE DU RIZ DANS L'ÉCONOMIE BURKINABÈ

Le riz a longtemps occupé une position de relative faiblesse dans l'économie céréalière au Burkina Faso. Dans les années 1960, le riz était considéré comme une plante négligeable que l'on ne trouvait que sur les tables de fête et dans les centres urbains [40]. Mais aujourd'hui, le riz est devenu un produit stratégique car il joue un rôle important dans la sécurité alimentaire et l'économie locale. En effet, le riz est entré dans les habitudes alimentaires de la population dans la période de l'administration française lorsque celle-ci a ouvert la voie à l'importation massive de riz brisé à bas prix de ses colonies asiatiques. Le coût peu élevé de sa transformation et de sa cuisson et la popularité des vendeurs de rue pour leurs plats à base de riz ont conduit à renforcer la préférence des consommateurs urbains à cette céréale [41]. En effet, la consommation du riz ne cesse de croître d'une année à une autre et aussi de s'élargir à toutes les couches socio-économiques [42]. Insignifiante au début des années 60, la consommation du riz au Burkina Faso s'accroît à un rythme annuel de 11 % [8]. La consommation

annuelle par habitant est passée de 4,5 kg en 1960 à 18,2 kg en 1999 et à 35 kg en 2013 [1], [43]. Dans les grandes villes comme Ouagadougou et Bobo-Dioulasso, cette consommation annuelle par habitant est d'environ 50 kg [44]. La production du riz a été évaluée à 350392 tonnes en 2019 [5], mais avec un déficit estimé à 393 816 tonnes. Pour combler le déficit de besoin en consommation, le Burkina Faso a recours à des importations massives. Ainsi, le riz reste la principale charge d'importation de céréales au Burkina Faso avec une dépense de 69252,6 millions de FCFA en 2019 [9]. Un autre argument puissant est que les consommateurs burkinabè, à l'instar des autres consommateurs africains, se détournent des denrées traditionnelles en faveur du riz et du maïs. Il est probable qu'à terme, les ruraux vont aussi accroître leur consommation de riz. Au Burkina Faso, le riz est produit selon trois (3) principaux modes bien distincts en fonction des écosystèmes: riziculture pluviale stricte, riziculture de bas-fond et riziculture irriguée

6 MODES DE PRODUCTION DU RIZ AU BURKINA FASO

Le système de base de la production du riz au Burkina Faso est la monoculture en une simple campagne annuelle en riziculture pluviale et de bas-fonds et en une double campagne annuelle en riziculture irriguée.

6.1 RIZICULTURE PLUVIALE

Le riz pluvial est le riz qui est cultivé sans être immergé, c'est-à-dire non pas dans une rizière, mais dans un champ. La riziculture pluviale stricte est définie comme étant le mode de culture où l'alimentation en eau des plants de riz est assurée uniquement par la pluie. Toutefois, l'alimentation en eau du riz peut également être partiellement assurée par une nappe phréatique peu profonde, dans ce cas, on parle de riziculture pluviale assistée [45]. Il est aujourd'hui notamment développé en Afrique de l'ouest et dans quelques zones tropicales à titre expérimental ou de culture traditionnelle. Les rendements sont plus faibles mais moins dépendants d'une ressource abondante en eau. Ce type de riziculture représente 13 % des surfaces en Asie mais respectivement 60 et 75 % en Afrique et en Amérique Latine [17]. Au Burkina Faso, Elle a été introduite en 1971 par l'IRAT. Grâce aux actions pilotes mises en place par le Programme riz de l'INERA à partir de 1992, elle a connu une extension rapide, mais elle reste toujours la moins répandue (17% des superficies et contribution à hauteur de 9 % à la production nationale) [46]. D'un coût de production plus faible, elle offre d'énormes possibilités de développement dans les régions où la pluviométrie annuelle est d'au moins 800 mm [47]. La riziculture pluviale stricte est tributaire de la quantité et de la répartition des pluies. Elle pourrait revêtir une importance plus grande pour la production nationale, pour peu qu'elle puisse s'insérer dans un système de rotation pratiqué dans les zones cotonnières. Elle est, en général, pratiquée sur des sols bien drainés et à bonne capacité de rétention en eau. Les rendements de ce type de riziculture sont de 1 à 2 t/ha [46]. Le riz pluvial strict est soumis aux caprices de la pluviométrie. Alors pour réussir sa production il faut absolument respecter l'itinéraire technique de production.

6.2 RIZICULTURE DE BAS-FOND

La riziculture de bas-fond est pratiquée soit dans des sites avec maîtrise partielle de l'eau (bas-fonds aménagés simples ou bas-fonds améliorés) ou dans des sites sans maîtrise de l'eau (bas-fonds traditionnels sans aménagement). Les bas-fonds se définissent comme étant des fonds plats ou concaves des axes d'écoulement temporaires qui sont inondés pendant des périodes d'au moins plusieurs jours et dans lesquels on trouve des sols aux caractères hydromorphes [48]. Les bas-fonds sont alimentés en eaux par les ruissellements, les écoulements souterrains qui proviennent des bassins versants situés en amont et des nappes phréatiques. C'est le mode de production le plus répandu (49 % des superficies et 41 % de contribution à la production) pratiqué dans toutes les régions du pays, notamment dans le sud-ouest où se concentre l'essentiel du potentiel en bas-fonds exploitables et où les conditions agro-climatiques sont les plus favorables [46]. La riziculture de bas-fonds se pratique généralement le long des rivières et est caractérisée par la remontée de la nappe phréatique au milieu de la saison pluvieuse. Le rendement moyen variant de 1,3 t/ha (bas-fonds non aménagés) à 2,5 t/ha (bas-fonds aménagés), avec un potentiel de 4t/ha pour les bas-fonds aménagés [49]. La diversité des bas-fonds et leur existence dans toutes les régions du Burkina Faso rendent la pratique de la riziculture de bas-fond accessible à un grand nombre de producteurs. La mise en valeur des terres de bas-fonds est fonction de leur disponibilité en eau par rapport aux terres hautes dans les régions où la fréquence et la répartition des eaux de pluie rendent aléatoire la conduite de certaines cultures à leur terme [50]. Malheureusement, la plupart des bas-fonds subissent les variations du régime des pluies. Les cultures sont tantôt submergées, tantôt soumises au retrait précoce des eaux. De ce fait, les variétés utilisées possèdent des cycles longs (variétés de riz de bas-fond). Par ailleurs, des phénomènes de toxicité ferreuse sont également observés surtout dans l'ouest du pays [51].

6.3 RIZICULTURE IRRIGUÉE

La riziculture irriguée a été introduite dans notre pays dans les années 1960 [52]. C'est le mode de production du riz le plus performant (maîtrise totale de l'alimentation en eau). Il occupe environ 34 % de la superficie rizicole et contribue pour près de 50 % à la production nationale en riz [46]. Le rendement varie entre 3 et 9 tonnes/ha. En plus, en raison de la maîtrise totale de l'eau, le système permet la double campagne annuelle sur la totalité ou une partie des périmètres aménagés. Au Burkina Faso, l'irrigation est assurée de trois (03) façons que sont la dérivation au fil de l'eau (Vallée du Kou, Karfiguélé), l'aménagement en aval de barrage (Mogtédo, Bagré) et le pompage dans les cours d'eau (Sourou) [49]. Depuis les sécheresses des années 1970, une attention particulière a été portée à la maîtrise de l'eau au Burkina Faso dans le but d'améliorer la productivité agricole [52]. C'est dans ce sens qu'une politique nationale de développement de l'irrigation a été élaborée, avec comme objectifs de stimuler l'agriculture irriguée. Ainsi, la maîtrise de l'eau est devenue une priorité nationale justifiant l'aménagement de grandes plaines [52]. Depuis, plusieurs types d'aménagements ont vu le jour avec notamment, l'aménagement de grandes plaines comme celle de la Vallée du Sourou, de la Vallée du Kou, le site de Bagré, le périmètre sucrier de la SOSUCO et la construction de nombreux petits barrages en terre et avec des avals aménagés. Malgré ces résultats, la culture du riz reste encore en deçà des attentes et est soumise à des aléas climatiques de plus en plus sévères [52].

7 CONTRAINTES DE LA PRODUCTION DU RIZ AU BURKINA FASO

La production du riz au Burkina Faso est confrontée à de multiples contraintes d'ordre abiotique et biotique qui causent d'importantes baisses de rendements. En effet, les contraintes abiotiques sont la principale cause de 71 % des pertes de rendement à travers le monde [53]. Parmi les facteurs abiotiques, l'insuffisance d'équipement agricole et d'intrant, les conditions climatiques et les facteurs socio-culturels sont les plus importants [54]. De tous ces facteurs, la variabilité climatique, demeure l'un des plus déterminants. La mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviométrie influe sur le rendement et entraîne l'abandon progressif des périmètres rizicoles au profit des cultures moins exigeantes en eau [55]. La saison pluvieuse étant de en plus en plus courte, a une conséquence sur l'hydrologie des périmètres aménagés; ce qui rend leur exploitation peu efficace. Cela induit le raccourcissement de la durée de la présence d'eau dans les bas-fonds. En outre, l'utilisation de plus en plus croissante des eaux du Kou pour l'alimentation de la ville de Bobo-Dioulasso et pour l'irrigation informelle accentue la réduction de la disponibilité en eau pour l'irrigation du riz à la vallée du Kou pendant la campagne sèche [28], [56]. Ainsi cette indisponibilité en eau pour l'irrigation du riz entraîne l'abandon des parcelles en campagne sèche.

8 HISTOIRE DE L'IRRIGATION AU BURKINA FASO

L'irrigation formelle est apparue au Burkina Faso au début des années 1960 pour connaître le développement actuel qu'on lui reconnaît [57]. En effet, les premières cultures produites en dehors de la saison humide ont été réalisées au Burkina dans les années 1920 par les missions catholiques de Pabré et de Bam [58]. C'est au début du XX^{ème} siècle que les missionnaires s'installent sur le Plateau mossi et font le constat d'une précarité liée à une famine généralisée dans la région de Ouagadougou. Pour des raisons de survie de la communauté missionnaire, les missionnaires identifient le site de Pabré et y font construire un barrage en terre en 1914. Ce barrage servira d'abord à l'élevage bovin, puis à la culture de blé et de légumes, à la plantation de tecks, de banane et de vigne, sur une concession de 200 ha de brousse. Ce type d'aménagement inspirera plus tard la politique coloniale dans le domaine hydraulique. Les aménagements étatiques de première génération apparaissent au début des années 1960. Il s'agit des plaines de la Vallée du Kou, Banzon, Karfiguélé dans les Hauts-Bassins et celles de Boulbi, Mogtédo et Louda dans le Plateau central [59].

La période des années 1970 a été caractérisée par la grande sécheresse qui a entraîné la famine des années 1973, révélant ainsi le caractère précaire de l'agriculture pluviale et le rôle de l'irrigation pour l'autosuffisance et la sécurité alimentaire [60]. Cette situation a amené l'Etat et ses partenaires techniques et financiers à consentir des efforts importants dans le domaine de l'irrigation. C'est durant cette période que l'irrigation en aval des petits barrages et les programmes de conservation des eaux et du sol ont commencé à se développer. La dernière décennie a été marquée par une volonté manifeste du Gouvernement et des bailleurs de fonds d'une mobilisation des ressources en eau. De grands ouvrages ont été réalisés (Sourou, Kompienga, Bagré, Samadeni...) et de nombreux barrages de moyennes et petites tailles ont été construits soit par l'Etat sur prêt ou subventions, soit par des ONG avec la participation des populations bénéficiaires. Trois (3) étapes fondamentales ont mis en évidence concernant le développement des périmètres irrigués. Ces différentes étapes se chevauchent sur le plan chronologique et peuvent être déclinées de la manière suivante [61]:

- Première étape: le développement de l'irrigation s'est déroulé de façon soutenue dans les années 1970 avec l'aménagement et la mise en valeur des périmètres rizicoles de la vallée du Kou (1260 ha), de Banzon (460 ha), de Karfiguèla (350 ha) par la mission chinoise et le périmètre sucrier de Beregadougou (4000 ha). Cette phase a abouti à l'aménagement de la vallée du Sourou et de la plaine de Bagré avec un potentiel de 30000 ha chacune, au début des années 1980 [62];
- Deuxième étape: elle a lieu au cours des années 1980 et 1990. Cette étape a concerné la réalisation de petits et moyens périmètres (de 20 à 200 ha) en aval ou en amont de petits barrages. Il faut cependant noter que l'aménagement des premiers petits périmètres (périmètres de Boulbi, de Louda, ...) a commencé, en réalité, dans les années 1970 autour des retenues d'eau;
- Troisième étape: cette étape mettant l'accent sur la petite irrigation a commencé au début des années 2000. Elle est surtout dominée par la promotion de l'initiative individuelle ou privée et destinée prioritairement à des cultures autres que le riz [57].

A partir de 2002, l'engouement pour l'irrigation est très fort et les interventions sur le terrain se chevauchent. Le Gouvernement fait élaborer une stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée adoptée en 2004 et à mettre en œuvre sur la période 2004-2015 [63]. Le riz et le maïs sont les spéculations céréalières produites sur des espaces irrigués au Burkina Faso. Cependant, le riz irrigué représente plus de 50% de la production totale du pays en riz sur la période 2010-2019 contrairement au maïs qui représente 3% [64].

9 NOTION DE SYSTÈMES D'IRRIGATION

L'irrigation est une opération artificielle qui consiste à amener l'eau aux plantes pour augmenter la production et améliorer le rendement de la terre agricole par l'apport de l'eau nécessaire à une forte croissance, ce principe est utilisé en cas de manque d'eau d'origine naturelle dans les régions arides ou pour les cultures qui nécessitent des grandes quantités d'eau comme coton ou le riz. Il existe différents types de technique d'irrigation; l'utilisation de chaque système d'irrigation se fait selon les besoins à savoir la surface du terrain et le type de plante.

Les systèmes d'irrigation ont été décrits et classés en deux grandes catégories à savoir l'irrigation de surface et l'irrigation sous pression [65]. Le système de l'irrigation de surface est un dispositif qui ne nécessite pas une pression pour la distribution de l'eau dans les parcelles. En effet, la distribution de l'eau dans ce système se fait par simple gravité. Le système d'irrigation sous pression au contraire est un dispositif d'irrigation pour lequel l'exhaure de l'eau se fait par pompage, le transport à charge et la distribution par pression [1]. Il nécessite de l'énergie pour son fonctionnement. En pratique, on distingue l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion.

9.1 IRRIGATION DE SURFACE

L'irrigation de surface ou irrigation gravitaire consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol [66] dans des sillons (méthode d'irrigation à la raie), par nappe (on parle d'irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin). Le terme d'irrigation gravitaire se réfère en réalité au moyen par lequel l'eau est transportée, c'est-à-dire par force de gravité dans des canaux à ciel ouvert. Il s'agit du mode d'irrigation le plus ancien (et donc assez rudimentaire) mais il est peu coûteux en investissement. C'est la méthode la plus utilisée à travers le monde et pratiquée dans les périmètres irrigués et aussi par la plupart des producteurs. Traditionnellement pour ces méthodes, l'eau est amenée au niveau de la parcelle puis distribuée dans des canaux de terres qui alimentent les raies, les planches ou les bassins. Les pertes par infiltration et la difficulté de contrôler les débits délivrés conduisent à un gaspillage d'eau et à un arrosage hétérogène [67].

9.2 IRRIGATION PAR ASPERSION

L'irrigation par aspersion consiste à reproduire sur le sol le phénomène naturel de la pluie, avec toutefois le contrôle de l'intensité et de la hauteur de l'averse. L'eau est transportée dans des réseaux de conduites sous pression puis délivrée au niveau de la parcelle par des bornes qui régulent la pression et le débit [67], [68]. L'eau est ensuite dirigée dans d'autres conduites qui alimentent sous pression des asperseurs qui répandent l'eau en pluie. Au niveau de l'asperseur, pièce maîtresse du dispositif, une buse crée un jet et l'oriente vers la cuillère, le bras mobile est activé par le jet, le ressort de rappel provoque le retour du bras mobile et assure ainsi la rotation de l'asperseur. Ce système utilisant plusieurs arrosoirs montés en tête sur les risers constitue un système d'irrigation solide. Les systèmes d'arrosage par aspersion sont utiles surtout dans les régions à topographie irrégulière et lorsqu'on désire apporter des quantités relativement faibles d'eau en peu de temps [69].

9.3 IRRIGATION GOUTTE À GOUTTE

L'irrigation goutte à goutte ou irrigation localisée ou micro irrigation consiste à appliquer l'eau à faible débit et à intervalles fréquents au voisinage immédiat de la plante de sorte que l'humidification soit limitée à la zone racinaire du sol uniquement au moyen d'un réseau dense de conduites [70]. Les débits délivrés sous de basses pressions sont faibles selon les modèles des distributeurs. Pour ce faire, on distribue habituellement l'eau dans des conduites fermées (par exemple des tubes de plastique) en des points spécifiques dont l'emplacement et l'espacement dépendent de la configuration de la plante cultivée [69].

Le système d'irrigation goutte à goutte offre la possibilité d'apporter l'engrais directement avec l'eau d'irrigation. Ce système de fertilisation localisée, appelée fertigation, assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau et des engrais entraînant ainsi une réduction des pertes des solutions nutritives par lessivage et par conséquent, une diminution de la pollution des nappes phréatiques par les engrais. Par rapport aux autres systèmes d'irrigation, le goutte à goutte permet une réduction du coût de la main d'œuvre impliquée dans les opérations de l'irrigation et de la fertilisation, et une baisse des quantités d'eau et d'engrais [69].

10 IRRIGATION ET TECHNOLOGIE DE PRODUCTION

L'irrigation répond de façon générale à plusieurs objectifs, présents ou non dans la stratégie d'un même exploitant agricole: un rendement agricole supérieur, une assurance contre les aléas climatiques (températures excessives, précipitations trop faibles) et également une qualité des produits supérieure exigée par la filière aval (contrats). D'un point de vue économique, la sécheresse aura des impacts différents selon la façon que le producteur l'appréhende. Si ce dernier anticipe un manque d'eau structurel, les conséquences d'épisodes de sécheresse répétés ne seront pas fondamentalement différentes de celles qui ont déjà conduit à la spécialisation technique des exploitants [71]. L'irrigation massive peut à cet égard être considérée comme un cas extrême résultant d'anticipations pessimistes sur la distribution des précipitations locales. La question de l'implantation de cultures à forte demande en eau comme le riz sur des zones à déficit pluviométrique chronique repose sur une combinaison complexe entre la rentabilité des cultures pratiquées, la nature des sols et les autres variables climatiques (les températures en particulier).

Si les anticipations des producteurs débouchent sur la construction d'une distribution de probabilité stable (stationnarité) pour les précipitations, les systèmes culturels pratiqués dépendront en dernière analyse de cette distribution, au sein d'un ensemble de facteurs autant économiques que pédo-climatiques. Il est naturel de considérer l'eau d'irrigation comme un intrant utilisé de façon combinée avec d'autres facteurs de production (engrais, travail, capital, énergie, semences) pour parvenir à un rendement donné. En ce sens, ce dernier sera une fonction a priori concave du volume d'eau utilisé, croissante jusqu'à un certain point et éventuellement décroissante au-delà (pour une irrigation excessive). Par contre, on oublie souvent que des facteurs de production peuvent être combinés pour répondre, en parallèle, au problème de limitation du risque encouru par l'exploitant. La notion pertinente de risque porte sur l'incertitude liée au profit total, cette dernière pouvant être confondue avec le risque de production si les prix de production et des facteurs sont connus avec certitude. En tout état de cause, si le risque de production n'est pas relié à celui du (ou des) prix (non corrélation des sources de risque), une stratégie unique de contrôle du premier pourra être menée [71].

L'agriculture irriguée contribue de manière remarquable à la sécurité alimentaire et nutritionnelle au Burkina Faso, hormis certaines céréales (mil, sorgho) qui restent essentiellement tributaires de la production pluviale. Les rendements de la culture irriguée du maïs sont de 4,6 t/ha en saison sèche et 3,7 t/ha en saison hivernale. Pour le riz irrigué les rendements sont de 4,7 t/ha en saison sèche et 2,9 t/ha en période de pluie [72]. Ainsi, l'agriculture irriguée constitue une source de redistribution des revenus pour les fournisseurs d'intrants et les transporteurs et contribue à la création d'emplois. L'agriculture irriguée apparaît également comme un moyen efficace de promotion des groupes vulnérables que sont les femmes et les jeunes: existence de milliers d'emplois féminins dans les micro-unités de transformation du maïs et du niébé, l'engouement des femmes à l'aval de la filière riz à travers la collecte, l'étuvage et la commercialisation. Dans la filière des légumes, il survient un quasi-monopole de la distribution des légumes dans les centres urbains par les femmes qui réalisent également la transformation artisanale. Elles sont par ailleurs les principales productrices des légumes dans les petites superficies irriguées. Cependant, elles ne représentent que 7 % des membres des comités d'irrigants [73].

Les pluies, en particulier leur part efficace, fournissent une partie de l'eau requise pour satisfaire les besoins d'évapotranspiration des cultures. Le sol, agissant comme un tampon, stocke une partie de l'eau de pluie et la restitue aux cultures en période de déficit. Sous des climats humides, ce mécanisme suffit pour assurer une croissance satisfaisante dans des systèmes de culture sans irrigation [71]. Dans des conditions arides ou en cas de saison sèche prolongée, il est nécessaire

d'irriguer pour compenser le déficit d'évapotranspiration (transpiration des cultures et évaporation à partir du sol) dû à l'insuffisance ou à l'irrégularité des précipitations.

11 IRRIGATION COMME MOYEN D'ADAPTATION À LA SÉCHERESSE AU BURKINA FASO

La variabilité climatique au Sahel a montré la grande vulnérabilité des systèmes de production agropastorale au cours des dernières décennies. La production céréalière interannuelle fluctue en moyenne de 20 % depuis la fin des années 80 [74]. Une situation qui s'aggrave de plus en plus avec le changement climatique: fréquence accrue des événements climatiques extrêmes, récurrence et allongement des poches de sécheresse et forte incertitude concernant la date de démarrage et la durée de la saison culturale. Les micro-organismes des sols vivent dans des « niches » et réagissent rapidement aux changements du milieu. La température et l'état hydrique du sol sont des facteurs déterminants de l'activité biologique. Les sécheresses et canicules impactent fortement la vie du sol par leurs effets à la fois directs (mortalités) et indirects (changements des habitats microbiens) et donc la sécurité alimentaire. Toutes les fonctions microbiennes et la biodiversité sont touchées [75]. Les cyanobactéries qui permettent la fixation de l'azote sont notamment très vulnérables. Même si la pluie revient au bout d'un certain temps, le retour de la vie microbienne n'est pas assuré. Avec l'irrigation associée à un niveau d'intensification compatible, on peut garantir le triple des rendements à l'hectare [76]. Par conséquent il est recommandé de prendre en considération le développement de l'irrigation comme stratégie de renforcement des capacités d'adaptation. L'irrigation pourra assurer en temps réel le complément d'eau pour enrayer le déficit hydrique engendré par les poches de sécheresse durant la saison des pluies. Il existe dans le pays des structures de formation et de recherche dans le domaine de l'agriculture irriguée et de la maîtrise de l'eau, capables d'assurer la mise en œuvre et le suivi technique d'une telle activité. En effet, l'irrigation est souvent devenue indispensable pour assurer la germination des semis ou la reprise des plantations; elle est incontournable durant la saison pour assurer une croissance continue de la qualité et du rendement [77]. Ainsi l'utilisation de l'irrigation augmente les coûts de production qui sont en partie compensés par l'obtention de qualité et de rendements supérieurs. Elle permet aussi de mieux planifier les semis et les récoltes, d'assurer les acheteurs de livrer les volumes promis aux dates promises. Et souvent, l'irrigation fait la différence entre une abondante récolte de qualité et une récolte de disette. Elle fait maintenant partie des moyens de production. En effet, elle assure la diversification des productions, en augmentant et en sécurisant la production et en permettant le développement de filières agro-alimentaires créatrices de nombreux emplois (semences, fruits et légumes...), lesquelles sont en général totalement dépendantes de l'irrigation [75]. Le développement de l'irrigation va contribuer à la sécurisation de la production agricole, à l'intensification de manière à limiter les cultures extensives et donc la dégradation de l'environnement. Le très faible taux d'irrigation de l'Afrique sub-saharienne est aujourd'hui considéré comme un facteur majeur de la vulnérabilité de cette immense région au dérèglement climatique [78].

12 IRRIGATION GOUTTE À GOUTTE: INNOVATION POUR STABILISER LA PRODUCTION ET AUGMENTER LE RENDEMENT DU RIZ EN MILIEU PAYSAN

Le recours à l'irrigation s'avère nécessaire pour garantir une production suffisante et pour rentabiliser l'investissement consenti afin de se prémunir contre les aléas climatiques et sécuriser la production [79]. La contrainte hydrique est posée actuellement avec acuité et oriente les techniques d'irrigation dans le sens de l'économie de l'eau. Il est donc devenu impératif de connaître les principaux moyens qui optimisent l'utilisation de l'eau en irrigation. Le pilotage de l'irrigation doit donc concilier les faibles disponibilités hydriques et les besoins en eau d'une production relativement élevée tout en assurant la compétitivité des coûts de production. Plusieurs études ont montré l'intérêt de l'irrigation pour corriger le déficit hydrique et la possibilité d'améliorer les rendements [80]. L'irrigation des céréales consistera à garantir une production seuil ou production minimale garantie, quelles que soient les conditions climatiques [81]. S'affranchir du facteur limitant en eau pour garantir une production seuil revient, par conséquent, à maintenir dans le sol une réserve hydrique suffisante à déterminer compte tenu des conditions pédoclimatiques locales d'une part et du stade phénologique de la culture d'autre part [82]. Traditionnellement, le riz irrigué est cultivé sous de l'eau stagnante continue (maintien d'une lame d'eau importante) à tous les stades phénologiques, sauf à la maturité. Cette méthode de culture du riz utilise plus de 30 à 45 % des ressources mondiales en eau douce [83]. En effet, la méthode conventionnelle de production du riz est un défi dans le scénario actuel en raison de la pénurie d'eau. Les technologies d'économie d'eau les plus répandues, telles que le système de culture en bas-fond et le système alternatif de mouillage et de séchage sont perçues comme consommant des quantités massives d'eau [84], [85]. Les systèmes d'irrigation actuels nécessitent la construction d'énormes réservoirs ou barrages avec des canaux (aménagement des plaines rizicoles) d'irrigation longs et très complexes dont la construction et l'entretien sont souvent coûteux et demandent beaucoup de travail [86]. Dans certaines régions du monde, on utilise des installations d'irrigation par aspersion, mais cela entraîne également un gaspillage d'eau. Par conséquent, un système d'irrigation efficace est nécessaire pour une pour stabiliser et

accroître le rendement de riz. Les techniques supérieures de gestion de l'irrigation couplées à des géotypes adaptés pourraient améliorer le rendement et l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour la culture du riz [87]. Une application précise de l'eau ainsi que des techniques de mouillage constant seraient réalisables en culture de riz sous l'irrigation goutte à goutte [88]. En plus, l'irrigation goutte à goutte entraîne généralement un bon développement des plants de riz en limitant l'évaporation du sol et la percolation profonde [86], [89]. Le riz sous irrigation goutte à goutte produit un plus grand nombre de talles et améliore la masse sèche totale que le riz en submersion [89], [90]. L'irrigation goutte à goutte est un choix de système d'irrigation plus pratique car il permet d'assurer la croissance du riz en raison de la disponibilité en eau et en nutriments dissous dans l'eau de manière relativement flexible. L'irrigation au goutte à goutte peut fournir de l'eau de manière précise et uniforme à une fréquence d'irrigation élevée par rapport à l'irrigation par sillons et par aspersion, ce qui peut potentiellement augmenter le rendement [86], réduire le drainage souterrain, fournir un meilleur contrôle de la salinité et une meilleure gestion des maladies puisque seul le sol est mouillé alors que la surface des feuilles reste sèche [88]. De même, la physiologie de la culture du riz est significativement influencée par l'irrigation goutte à goutte [91] avec une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau, des nutriments [92]. Le rendement élevé en grains peut être maintenu en économisant l'eau de 50 % à 60 % [93]. Une gestion appropriée de l'eau peut améliorer la transmission de la lumière et la surface photosynthétique du riz dans les dernières phases de croissance. Cela favorise l'accumulation de la matière sèche et augmente le taux net de photosynthèse du riz avant l'épiaison [94]. Cependant, quelques tentatives ont été faites dans le monde pour étudier l'adaptabilité et la réponse de l'irrigation goutte à goutte dans la culture du riz [89], [90], [95], [96], [97]. Ainsi, plus d'informations sur la réponse agronomique du riz à l'irrigation goutte à goutte est nécessaire pour évaluer la faisabilité technique et économique de l'utilisation de l'irrigation goutte à goutte sur les meilleures pratiques de gestion du riz.

13 CONCLUSION

Le riz occupe une place importante dans l'alimentation de la population burkinabè. C'est l'une des céréales stratégiques pour l'atteinte la sécurité alimentaire des populations surtout dans les pays en voie de développement comme le Burkina Faso. Le gouvernement burkinabè a entrepris des aménagements de périmètres en vue de développer la culture du riz irrigué depuis la crise alimentaire survenue en 2008. D'importantes superficies ont été aménagées en maîtrise totale pour la riziculture de submersion avec des variétés dont le rendement potentiel est estimé à plus de 7 tonnes/ha. Malheureusement le riz est actuellement cultivé dans un contexte de fortes variabilités climatiques qui entraînent la raréfaction des ressources en eau et affectent négativement la production même dans les périmètres aménagés. Par conséquent, un système d'irrigation efficace est nécessaire pour augmenter et stabiliser les récoltes en riziculture. Cette situation nécessite une utilisation réfléchie de l'eau en agriculture en particulier dans la culture du riz irrigué. Dans un tel contexte, des technologies émergentes comme l'irrigation goutte à goutte utilisant moins d'eau pour la production semblent être indispensables pour garantir une certaine régularité et une augmentation du rendement en riziculture irriguée. Pour une amélioration durable du système de culture riz sous irrigation goutte à goutte, il apparaît urgent d'approfondir les connaissances sur les effets et l'impact de cette technologie sur le rendement et la rentabilité économique du riz.

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement la société IRRIFASO pour l'accompagnement, et les membres de l'Equipe Génétique et Amélioration des Plantes (EGAP) du Laboratoire Biosciences de l'Université Joseph KI-ZERBO pour le suivi et les corrections du manuscrit. Ce travail a été soutenu par Centre national de l'Information, de l'Orientation scolaire et professionnelle, et des Bourses à travers la bourse accordée à Monsieur Dominique NIKIEMA.

REFERENCES

- [1] FAO, Technique d'irrigation pour les agriculteurs à petite échelle: pratiques clés pour les praticiens de la RRC (Réduction des Risques de Catastrophe), 2014.
- [2] P.A. SECK, A. A.TOURE, Y. J. COULIBAL, A. DIAGNE and C. S.M. WOPEREIS "Africa's rice economy before and after the 2008 rice crisis", CABI, pp. 20-35, 2013.
- [3] WARDA, NERICA: the New Rice for Africa compendium. EA Somado, RG Geui and So Keya (eds). Cotonou, Benin, 2008.
- [4] MARHASA, Résultats définitifs de la campagne agricole 2014/2015 et perspective de la situation alimentaire et nutritionnelle. Rapport final. MARHASA, Ouagadougou, Burkina Faso, 73p, 2015.
- [5] INSD, Annuaire statistique 2019, Ministère de l'économie des finances et du développement, Burkina Faso, Annuaire statistique, 2020.

- [6] A. TANAKA, J.M. JOHNSON, K. SENTHILKUMAR, C. AKAKPO, Z. SEGDA, L.P. YAMEOGO, I. BASSORO, D.M. LAMARE, M.D. ALLARANGAYE, H. GBAKATCHETCHE, B.A. BAYUH, F. JAITEH, R.K. BAM, W. DOGBE, K. SEKOU, R. RABESON, N.M. RAKOTOARISOA, N. KAMISSOKO, I.M. MOSSI, K. SAITO, "On-farm rice yield and its association with biophysical factors in sub-Saharan Africa", *Eur. J. Agron.*, vol. 85:, pp. 1-11, 2017.
- [7] K. SAITO, V. P. AHOQUANTON K., A. DELALI, A. TANAKA, K. SENTHILKUMAR, E. VANDAMME, Yield gap analysis towards meeting future rice demand. In Tokyo University of Agriculture, Japan & T. Sasaki (Éds.), *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science*, 2017.
- [8] SNDR, Deuxième Génération de la Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture 2021-2030. Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-Agricoles. Burkina Faso, 2020.
- [9] MCIA, Balance commerciale et commerce extérieur du Burkina Faso, 2020.
- [10] B.G. SOULE, Revue analytique des stratégies nationales d'investissement et de politiques agricoles en vue de la promotion des filières de base en Afrique de l'Ouest, in A. Elbehri (ed.), *FAO/FIDA*, 2013, pp. 93-124.
- [11] S. FOSSI, D. OUEDRAOGO, B. ZONGO, Y.M. TRAORE, K.S. Da SILVEIRA Acceptance and popularization of supplemental irrigation in the Bam province, BURKINA FASO, in *Revue scientifique et technique LJEE N°21 et 22. Spécial colloque CIREDD*, 2013, pp. 29-36.
- [12] FMI, Burkina Faso: Strategy for accelerated growth and sustainable development 2011- 2015, 2012.
- [13] T. Radanielina et D. Vakinankaratra, *Diversité génétique du riz (Oryza sativa L.) dans la région de Vakinankaratra, Madagascar*. 2013.
- [14] I. OLIVIERI, D. COUVET, P.H. GOUYON, "The genetics of transient populations: research at the metapopulation level", *Trends Ecol. Evol.*, vol. 5, pp. 207-210., 1990.
- [15] A. BARNAUD, M. DEU, E. GARINE, D. MCKEY, H. JOLY "Local genetic diversity of Sorghum in a village in northern Cameroon: structure and dynamics of landraces", *Theor. Appl. Genet.*, 114, pp237-248, 2007.
- [16] S. Peraudeau, Réponses de la respiration à l'augmentation de la température nocturne chez le riz : Production de biomasse et de grains et conséquences pour les modèles de culture, 2017.
- [17] B. COURTOIS, Une brève histoire de l'amélioration génétique du riz. CIRAD, UMR1096, TA40/03, 34398 Montpellier Cedex 5, France, 2007.
- [18] IRRI, *Wild rice taxonomy*. International Rice Research Institute, 2005.
- [19] G.S. KHUSH, "Origin, dispersal, cultivation and variation of rice", *Plant Mol. Biol.*, vol. 35, p. 25-34, 1997.
- [20] M. Sié, *Prospection et évaluation génétique des variétés traditionnelles de riz (Oryza sativa L. et Oryza glaberrima Steud.) du Burkina Faso*. Thèse de Docteur-Ingénieur. Université Nationale de Côte d'Ivoire 02 BP 801, Abidjan 02, 1991.
- [21] ADRAO, *Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest - Formation en production rizicole, manuel du formateur*; Edition Sayce publishing, Royaume Uni, 1995.
- [22] K. FUTAKUCHI, et M. SIE, "Better exploitation of African Rice (*Oryza sativa*) in varietal development for resource – poor farmers in West and Central Africa", *Agri. J.*, vol. 4, pp. 96–102, 2009.
- [23] J. PERNES, J. BERTHAUD, G. BESANÇON, D. COMBES, J. M. LEBLANC, M. WURD, Y. SAVIDAN et G. SECOND, *Gestion des ressources génétiques des plantes: monographies.*, Tome 1. Ed. 1984.
- [24] M. LACHARME, *Le plant de riz: données morphologiques et cycle de la plante*. Fascicule 2, Paris, 2001.
- [25] B.O. JULIANO, *Le riz dans la nutrition humaine*. Rome, FAO-IRRI, 1994.
- [26] O.F. LINARES, "African rice (*Oryza glaberrima*): History and future potential. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America", vol. 251, pp. 16360-16365., 2002.
- [27] A. DIAGNE, *The Nerica success story: Development, achievements, and lessons and Learned*. AfricaRice Center (AfricaRice). BP 2031 Cotonou Benin, 2010.
- [28] EUREKA, *Revue trimestrielle du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST)*, Ouagadougou, Burkina Faso, 2005.
- [29] A. GALLAIS, *Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes.*, Editions Q. 2011.
- [30] M. Jacquot, C. Guy, A. Ghesquière, J.-C. Glaszmann, E. Guiderdoni, et Didier Tharreau, *Les riz, L'amélioration des plantes Trop.*, pp. 533-564, 1997.
- [31] D. WAR and L. STEIN, "Comparison of genes among cereals", *Curr Opin Plant Biol*, vol. 6, pp. 121-127, 2003.
- [32] MAE – CIRAD., *Mémento de l'agronome*. Paris, Jouve. ISBN. 2002.
- [33] G. MOORE, K.M. DEVOS, Z. WANG and M.D. GALE, "Cereal genome evolution. Grasses, line up and form a circle", *Curr Biol*, vol. 5, pp. 737-739., 1995.
- [34] A. Volvey, Y. Déverin, M. Houssay-Holzschuch, E. Rodarry, I. Surun, K. Bennafla, L'ADRAO et le NERICA, « Riz Miracle Africain ». L'Afrique, coll. Clefs concours, Atlande., 2005.
- [35] Z. BADINI, S. OUEDRAOGO, M. KABORE et S. MARGUERITTE, *Stratégie pour une relance durable de la filière riz au Burkina Faso*, Comité Interprofessionnel du Riz Burkina Faso (CIR-B), 2010.

- [36] P.L.YAMEOGO, A. TRAORE, A.A. BANDAOGO, "Influence des modes de gestion de l'eau et de la fumure minérale sur quelques paramètres chimiques du sol et le rendement du riz à la Vallée du Kou au Burkina Faso", J. Appl. Biosci., vol. Vol : 165, pp. 17099-17110., 2021.
- [37] FAO, Suivi du marché du riz de la FAO. Volume XX, Edition N°1., 2017.
- [38] M. SIE, Y. SERE, S. SANYANG, L.T. NARTEH, S. DOGBE, M.M. COULIBALY, A. SIDO, F. CISSE, E. DRAMMEH, S.A. OGUNBAYO, and L. ZADJ, "Regional Yield Evaluation of the Interspecific Hybrids (*O. glaberrima* x *O. sativa*) and Intraspecific (*O. sativa* x *O. sativa*) Lowland Rice", Sci. Asian J. Plant, pp. 130-139, 2008.
- [39] A. Gallais and H. Bannerot, Amélioration des espèces cultivées, in INRA Paris Éditions, 1992, pp. 71-88.
- [40] S. BOUTSEN et J. AERTSEN, Peut-on nourrir l'Afrique de l'Ouest avec du riz? Mondiale Papers, 2013.
- [41] T. REARDON, "Cereals demand in the Sahel and potential impacts of regional cereals protection", World Dev., vol. 21, no (1):, pp. 17-35, 1993.
- [42] A. DRABO, Situation de la filière riz au Burkina Faso, Observatoire national de la filière riz du Burkina Faso–Onri, 2004.
- [43] DGPER, Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2009-2010. Rapport d'activités, Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique et des ressources halieutiques, Ouagadougou, Burkina Faso, 2010.
- [44] Y. G. BAZIE, S. R. GUISSOU, et W.F.A. ILBOUDO, Analyse des incitations par les prix pour riz au Burkina Faso. FAO. Mas Aparisi, Rome, 2014.
- [45] M. SIE et C. COMBASSERE, Rapport de synthèse SA VRIZ. Programme riz et riziculture. INERA station de Farako-bâ, 1994.
- [46] INERA, Atelier riziculture, Production rizicole au Burkina Faso : Enjeux, contraintes et perspectives, 2018.
- [47] Y. DEMBELE, J. DUCHESNE, S. OUATTARA et Z. ZIDA, "Evolution des besoins en eau du riz irrigué en fonction des dates de repiquages", Cah. d'agricultures, vol. n°8, pp. 93-100., 1999.
- [48] PSSA, Propositions d'actions pour la mise en valeur des bas-fonds de l'Ouest et du Sud-Ouest du Burkina Faso. Projets BKF/97/017/08/l2 Inventaire des bas-fonds aménageables de l'ouest et du sud-ouest du Burkina Faso. FAO, (Burkina Faso), 1999.1999.
- [49] I. WONNI, Les bactérioses du riz dues à *Xanthomonas oryzae* au Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'université Montpellier II en Biologie intégrative des plantes, France, 2013.
- [50] M. RAUNET, Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative in, Agron. Trop. ND, vol. 40, no 3, pp. 181-200, 1985.
- [51] K.A. Konaté, Criblage de variétés du riz africain *O. Glaberrima* pour la résistance à la toxicité ferreuse sur le périmètre rizicole de la Vallée du Kou. Mém. de fin d'étude. Master en protection et amélioration des plantes, Univ. de Ouagadougou (Burkina Faso), 2012.
- [52] MAHRH, Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée. Ouagadougou, 2003.
- [53] D. LAVIGNE, L. BOUCHER et L. VIDAL, Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements. Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, actes du séminaire international, CIRAD, pp. 148-161, 1996.
- [54] G. TIBALDESCHI et X. BOULENGER, Programme de mise en valeur et de gestion durable des petits barrages, rapport d'évaluation. Département agriculture et développement rural région centre ouest. Fonds Africain de Développement (FAD), 2001.
- [55] S. Traoré, Mise au point d'un paquet technologique de protection intégrée contre les insectes foreurs de tige, la pyriculariose et les nématodes associés au riz irrigué. Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 2000.
- [56] IWMI, CNID-B, Etude des bonnes pratiques en matière de gestion de l'eau agricole (GEA) au Burkina Faso, 2010.
- [57] MAHRH, MAHRH, Politique nationale de développement durable de l'agriculture irriguée: stratégie, plan d'action et plan d'investissement, horizon 2015 (PNDDAI). Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, 2004.
- [58] T.P. ZOUNGRANA, "Enclavement et développement des cultures irriguées au Burkina Faso. In Collection", Pays enclavés Ed. CRET, Bordeaux, vol. no 9, pp. 25-48.
- [59] B.E. DIALLA, La question foncière sur les périmètres hydro-agricoles du Burkina Faso. DT-CAPES N°2003-07, 2003.
- [60] J. ALBERGEL, J.P. CARBONNEL et M. GROUZIS, "Péjoration climatique au Burkina Faso : incidences sur les ressources en eau et les productions végétales", Cah.ORSTOM, Sér. hydrol., vol.11, n°1, pp. 3-19, 1985.
- [61] E. BROWN, N. NOTTER, Successful Small-Scale Irrigation in the Sahel. World Bank Technical Paper No 171, The World Bank, Washington, 1992.
- [62] H. AOUBA, L'irrigation au Burkina Faso : Historique, situation, perspectives. "Quel environnement pour le développement de l'irrigation au Burkina Faso ?", in Actes du séminaire- atelier, pp. 29-48, 1993.
- [63] D. KAMBOU, Evaluation des performances techniques de l'irrigation au Burkina Faso. Université de Liège- Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique. Diplôme de Doctorat, 2019.

- [64] MAAH, Annuaire des Statistiques Agricoles 2019, 2020.
- [65] J.-R. TIERCELIN & J. GRANIER, L'irrigation par aspersion., eds. Traité d'irrigation. 2e éd. Paris : in Lavoisier, pp. 549-583, 2006.
- [66] C. BROUWER, Méthodes d'irrigation. Manuel de formation n° 5. Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres, 1990.
- [67] N. SAIYOURI, Méthodes d'irrigation en milieu aride, 2012.
- [68] M. CLEMENT, A. PAUL, C.C. JEAN, Bases techniques de l'irrigation par Aspersion, pp. 455-457, 2007.
- [69] A. PHOCAIDES, Manuel des techniques d'irrigation sous pression. 2nd Edition, Rome. 2008.
- [70] N. BARBISAN, H. De SEVIN, F. GABARROT, T. Le GAC, Q. RYSAK, C. ULLMANN, Méthodes d'irrigation en milieu aride, 2012.
- [71] J.P. AMIGUES, P. DEBAEKE, B. ITIER, G. LEMAIRE, B. SEGUIN, F. TARDIEU, A. THOMAS, Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau, 2006.
- [72] DGPER, Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2011- 2012. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique, Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale, 2012.
- [73] MAH, Etude diagnostique et évaluative en vue de l'harmonisation et de l'optimisation des interventions dans le sous-secteur de l'agriculture irriguée au Burkina Faso. CILLSIMAH/DADI, 2011.
- [74] A. DIARRA, S.K. SILVERIA et M. ZOROM, Irrigation de complément et information climatique : de la recherche au renforcement des capacités d'adaptation institutionnelles et communautaires au Sahel, 2015.
- [75] G. BENOIT, Eau, agriculture et changement climatique : un état de l'art aux niveaux mondial, euro-méditerranéen et national, 2017.
- [76] P. DEBAEKE, M. WILLAUME, P. CASADEBAIG, M.J. NOLOT, "Raisonnement des systèmes de culture en fonction de la disponibilité en eau", Innov. Agron., vol. 2, pp. 19-36., 2008.
- [77] P. SAURIOL, L'irrigation, une réponse aux changements climatiques, 2018.
- [78] PANA, Programme d'action national d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques. BURKINA FASO, 2007.
- [79] J.C. MAILHOL, Contribution à la maîtrise de l'irrigation et de ses impacts, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, UR Irrigation Cemagref Montpellier, 2005.
- [80] A. CALIANDRO, F. BOARI, The role of supplementary irrigation in increasing productivity in the Near East Region, in: Internationale conference on "supplementary irrigation and drought water management", pp. 10-13, 1992.
- [81] B.A. FILALI, Irrigation de complément des céréales : une méthode d'analyse. Cas de la région de Meknes, Maroc.MEDIT. 1991.
- [82] N. CHAMOUN, Les effets de l'Irrigation Complémentaire sur la Productivité du Blé Tendre dans la Békaa Nord. INRA France, DEA, 1999.
- [83] E. HUMPHREYS, S.S KUKAL, E.W. CHRISTEN, G.S. HIRA, B. SINGH, S. YADAV and R.K. SHARMA, "Halting the groundwater decline in north-west India-Which crop technologies will be winners?", Adv. Agron., no 109, pp. 155-217., 2010.
- [84] P. BELDER, B. A. M. BOUMAN and R. CABANGON, "Effect of watersaving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia", Agr. Water Manag., vol. 65; no 3, pp. 193-210., 2004.
- [85] V. GEETHALAKSHMI, T. RAMESH, A. PALAMUTHIRISOLAI and A. LAKSHMANAN, "Agronomic evaluation of rice cultivation systems for water and grain productivity", Arch. A.M. ADEKOYA, Z. LIU, E. VERED, L. ZHOU, D.KONG, J. QIN, R. MA, X. YU, G. LIU, L. CHEN & L. LUO, "Agronomic and Ecological Evaluation on Growing Water-Saving and Drought-Resistant Rice (*Oryza sativa* L.) Through Drip Irrigation", J. Agric. Sci., vol. Vol. 6, No, pp. 110-119., 2014.
- [86] Y. KATO and K. KATSURA, "Rice adaptation to aerobic soils: Physiological considerations and implications for agronomy", Plant Prod. Sci., vol. 17, no (1);, pp. 1-12, 2014.
- [87] B.R. HANSON and D.M. MAY, "The effect of drip line placement on yield and quality of drip-irrigated processing tomatoes", Irrig. Drain. Syst., vol. 21; , pp. 109-118., 2007.
- [88] D. NIKIEMA, N. SAWADOGO, H.R. BAZIE, Y.I. SINARE, M.H. OUEDRAOGO, M.L. BARRY, M. SAWADOGO, "Effet de l'irrigation goutte à goutte sur les paramètres agromorphologiques de trois variétés de riz de bas-fond", RIGES., pp. 257-269, 2021.
- [89] H.B. HE, F.Y. MA, R. YANG, L. CHEN, B. JIA, J. CUI, H. FAN, X. WANG and L. LI, "Rice performance and water use efficiency under plastic mulching with drip irrigation", PLoS One, vol. 8, no (12);, pp. 83-103., 2013.
- [90] R. TOGNETTI, M. PALLADINO, A. MINNOCCI, S. DELFIN and A. ALVINO, "The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in southern Italy", Agric. Water Manag., vol. 60; , pp. 135-155., 2003.
- [91] A.R. EID, B.A. BAKRY and M.H. TAHA, "Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions", Agric. Sci., vol. 5; , pp. 249-261., 2013.
- [92] H.B. HE, R. YANG, L.Q. WU, B. JIA, F.Y. MA, "The growth characteristics and yield potential of rice (*Oryza sativa*) under non-flooded irrigation in arid region", Ann. Appl. Biol., vol. 168, pp. 337-356., 2016.
- [93] J.Z. XU, S.Z. PENG, Z. WEI, "Effect of soil moisture regulation during tillering period on shoot dynamics of rice cultivated in plastic film mulched dryland and its simulation", J. Hohai Univ., vol. 38, pp. 511-515, 2010.

- [94] T. PARTHASARATHI, K. VANITHA, S. MOHANDASS, S. ENTHILVEL and E. VERED "Effects of impulse drip irrigation systems on physiology of aerobic rice", *Indian J. Plant Physiol.*, vol. 20, no (1);, pp. 50-56, 2015.
- [95] R. SHARDA, G. MAHAJAN, M. SIAG, A. SINGH and B.S. CHAUHAN, "Performance of drip irrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia". *Paddy Water Environ*, vol. 15, no (1), pp. 93-100, 2017.
- [96] Y.A. RAJWADE, D.K. SWAIN, K.N. TIWARI and P.B.S. BHADORIA, "Grain yield, water productivity, and soil nitrogen dynamics in drip irrigated rice under varying nitrogen rates", *Agron. J.*, vol. 110, no (3);, pp. 868–878, 2018.