

Apport hydrique et son impact sur le comportement de quatre variétés de haricot bio fortifié dans le groupement de Buzi

Par IRENGE MAJIRA ALAIN, Assistant du second mandat à l'Institut Supérieur de Développement Rural de Goma

Téléphone : +243 993235837, +243 840960607.

E-mail : alainirenge2@gmail.com

Résumé

Afin de déterminer l'apport hydrique impactant positivement le comportement de chacune de ces quatre variétés de haricot bio fortifiée « RWR10, HM21-7, NUA100, CODMLB001 » soumises à l'analyse, l'expérience suivante a été réalisée. Avant la semis, l'humidité de départ a été déterminée par séchage de l'échantillon du sol au soleil pendant 72heurs, suivi de la détermination de besoin journalier par les paramètres de perméabilité et conductivité hydraulique ayant servi de quantification de l'eau perdu par percolation journalier, pour maintenir la quantité disponible au plante.

Mots-clés : *Apport, Eau, Impact, comportement, Variété*

Abstract :

In order to determine the water intake positively impacting the behavior of each of these four varieties of fortified organic beans « RWR10, HM21-7, NUA100, CODMLB001 » subjected to the analysis, the following experiment was carried out. Before sowing, the starting humidity was determined by drying the soil sample in the sun for 72 hours, followed by the determination of the daily requirement by the parameters of permeability and hydraulic conductivity which served as a quantification of the water lost by percolation, to maintain the quantity available to the plant.

Keywords : *Intake-Water-Impact-Behavior-Variety*

INTRODUCTION

Afin de favoriser leur croissance végétative et leur développement, les plantes ont besoin d'eau appropriée en qualité et en quantité, à portée à leurs racines et au bon moment. La plus grande partie de l'eau absorbée par une plante sert à transporter les nutriments dissous dans le sol jusqu'aux organes aériens des plantes, d'où elle est libérée dans l'atmosphère par transpiration, l'utilisation de l'eau en agriculture est intrinsèquement consommée. Chaque culture a des besoins en eau particuliers, qui varient selon les conditions climatiques d'un milieu à un autre. (BOYER, 1976)

Au niveau planétaire à peu près un tiers des terres agricole souffrent d'un déficit en eau qui constitue le facteur limitant les rendements de la majorité d'espèces végétales. Dans la plupart des zones du monde les rendements céréaliers sont périodiquement exposés au stress hydriques.

L'efficacité d'utilisation de l'eau, définie comme la production de biomasse par unité d'eau consommée est un caractère important de tolérance à la sécheresse. La sélection pour l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau est confrontée à la lourdeur et au coût des mesures directes sur des effectifs élevés et en conditions de plein champ. (SEMCHEDDINE, 2008)

Actuellement, près de 20% des terres agricoles autour du monde sont irriguées, et ces terres fournissent environ 40% de l'approvisionnement alimentaire au monde. La sécheresse et les pénuries d'eau menacent la capacité de production de la nourriture pour des nombreux pays développés et en voie de développement, particulièrement ceux de l'Afrique. (SALLEO. S et al, 2003).

Parmi les différents stress environnementaux, la sécheresse est la contrainte environnementale qui cause certainement le plus de dommages dans les productions agricoles. En effet, selon (TRINCHANT et al.,2004), chaque année, les surfaces perdues à cause des stress hydrique varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. En Algérie, la rareté est caractéristique des précipitations (200 à 600mm/an) peuvent être les facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas de céréales.

La contrainte hydrique se développe plus ou moins rapidement selon les propriétés hydrodynamiques du sol, la capacité de la plante à extraire l'eau disponible dans le sol et la demande climatique qui s'exerce au niveau du couvert végétal. Le sol est conçu comme un système de mini réservoirs d'un centimètre d'épaisseur se déversant les uns dans les autres par cascade dès que la teneur en eau excède la capacité au champ. Entre deux horizons, le changement textural ou structural peut engendrer un frein à l'infiltration et provoquer une rétention d'eau supérieure à la capacité au champ, voire même de l'excès d'eau qui pénalise le système racinaire. La capacité du sol à développer rapidement un mulch naturel (couche sèche de surface limitant fortement l'évaporation du sol) est un caractère important à considérer, en particulier en agriculture irriguée. Les processus de croissance - sénescence des racines sont directement calculés en longueur et dépendent à la fois de l'espèce et des contraintes physico-chimiques du sol (excès d'eau, semelle de labour, ...). Le calcul de la demande climatique repose sur un modèle résistif, faisant intervenir les caractéristiques combinées de l'atmosphère (rayonnement, température, vent et humidité) et du couvert végétal (hauteur, LAI, conductance stomatique qui varie avec le CO₂).

Dans les zones arides, les besoins en eau des cultures sont élevés alors que l'eau disponible présente une forte minéralisation défavorable à son utilisation en irrigation. Une des options possibles pour développer des productions horticoles dans ces zones est d'utiliser les sols peu évolués, comme support inerte pour les cultures et d'assurer l'intégralité des besoins en eau et en sels minéraux des plantes par la transformation des eaux naturelles en solutions nutritives. (CORNIC.G, 2008)

Le réservoir en eau du sol est estimé en additionnant les valeurs contenues pour chaque horizon. Cette démarche s'appuie donc sur des hypothèses simplificatrices et surtout elle considère que la texture est la seule caractéristique qui intervient dans la rétention en eau, ce qui n'est généralement pas le cas (ALLEN et al,1996).

Ainsi, les plantes réagissent à ce stress, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou tolérance de la plante à la contrainte (Munns et al, 2006).

Une pluviométrie de 300 à 600mm durant la période de végétation semble être l'optimum pour la culture du haricot. Pour un développement optimal le haricot exige 80 à 120 mm de pluviométrie mensuelle depuis le semis jusqu'à la maturité physiologique. (GODDERIS, W., 1995)

Vue sous l'angle des productions animales et végétales, l'eau apparaît souvent comme un facteur limitant important. C'est aussi un facteur fantaisiste. La présence de l'eau dépend des climats qui sont incontrôlables et, lorsqu'elle est présente ses comportements naturels tendent constamment à modifier l'ordre de la terre et de la végétation, parfois même de façon catastrophique. (H. DUPRIEZ 1990)

Mais pour mieux caractériser les conditions d'alimentation en eau du végétal, il faut tenir compte de l'influence de la nature du sol et de sa position topographique, le raisonnement doit aller au-delà du bilan hydrique potentiel, il doit se faire en terme de bilan hydrique pédologique par le suivi du profil hydrique (ROGNON, 1994 cité par SEMCHEDDINE, 2008)

Suite à la perturbation climatique nous avons constaté une différence de pluviométrie qui cause des sécheresses dans la région et qui nous poussent à irriguer nos champs d'une part et l'excès d'eau nous poussant à drainer, et qu'il y a les problèmes de non connaissance des besoins réels de nos sols, pour nourrir telle ou telle culture.

Les différents apports d'eau influenceraient la croissance de chacune de ces nouvelles variétés de haricot, leur cycle végétatif. C'est ainsi que l'objectif de cette étude était de déterminer la quantité d'eau qu'il faut apporter pour avoir un bon rendement de ces nouvelles variétés, la résistance de ces dernières à ces apports, et le quel de ces apports raccourcis le cycle de cette culture.

2. CADRE METHODOLOGIQUE DE RECHERCHE

Le groupement Buzi va constituer notre champ expérimental. La présente étude s'est déroulée sur une période allant du 25 mai au 23 Août 2021. Ce groupement a ainsi été choisie en raison de la diversité des cultures couramment pratiquée par la quasi-totalité de ses ménages.

2.1.MATERIEL ET METHODE

2.1.1. Matériel

Le matériel était constitué de deux catégories dont :

- Les matériels végétatifs utilisés étaient constitués de quatre variétés de haricots bio-fortifiées nains CODMLBOO1, RWR10, HM21-7 et le variété NUA100 en provenance de l'INERA MULUNGU
- Les matériels non végétatifs utilisés lors de cette étude sont : les pots, un carnet, stylo, arrosoir, récipient gradué de 0,1 à 2litres, sol, sachet serre et le décimètre.

2.1.2. Méthode

Les paramètres physiques et chimiques influençant l'eau dans le sol étant la texture, structure et le carbone organique. La méthode d'analyse granulométrique nous a permis de déterminer la qualité du sol. La dispersion de l'argile a été faite à l'aide de l'hexaméthaphosphate de sodium et la destruction de la matière organique par le peroxyde d'hydrogène. Pour ce qui concerne le carbone la méthode spectrométrique a été faite à 460 nanomètres.

L'humidité de départ a été déterminée par séchage de l'échantillon du sol au soleil pendant 72heurs.

2.2. Détermination des propriétés hydrauliques et la quantité d'eau

La détermination des propriétés hydrauliques de ces sols a été faite sur base de l'équation de Saxton et Rawls (2006) génère à partir du logiciel SPAW (Soil Plant Air and Water) et de United State Department of Agriculture (USDA). Ce modèle génère les données hydrauliques à partir des données de texture et matière organique qui sont les deux propriétés qui définissent l'état de l'eau dans le sol. Les équations de pédotransfert de Saxton, donnent la proportion de participation de chaque composante du sol dans la construction de l'équation. La composante texture occupe la première place et la composante matière organique occupe la deuxième place. Ces équations visent à contourner les problèmes de quantification de certains paramètres qui exigent beaucoup de procédure, temps et moyen de laboratoire.

Ainsi pour déterminer le besoin en eau journalier, nous avons observé les paramètres suivants : a) La perméabilité et conductivité hydraulique nous a servi à connaître la quantité de l'eau perdu par percolation par jour pour maintenir la quantité d'eau disponible pour la plante.

b) Le point de flétrissement

c) Le point de saturation

d) La capacité aux champs

Ainsi, la valeur de l'eau disponible a été calculée en faisant la soustraction de la valeur du point de saturation à la valeur du point de flétrissement.

Les données sur l'apport d'eau constituant un de facteurs d'étude

Le résultat de ces analyses a été placé dans le triangle de Saxton

Texture	Clay
Wilting point	31,6% Vol
Field capacity	42,9% Vol
Saturation	47,7% Vol
Available water	0,11cm/cm
Saturation hydraulic	0,27mm/h
Matricbulkdensity	1,38g/cm ³

Selon ces informations, nous avons calculer les différentes quantités à apporter à notre culture de haricot se trouvant du point de flétrissement au point de saturation de ce sol.

Eau disponible = 0,011litre/ cm³ et la surface du vase = 176,625 cm³

La disponibilité était de : 0,011 litre/ cm³ x 176,625cm = 1,942875 litre

Au point de saturation nous avons trouvé : 1,942875 litre x 47,7% = 0,926751375 litre /jour

Au point de flétrissement nous avons trouvé ; 1,942875 litre x 31,6% = 0,6139485

Ces deux points nous avaient poussées à utiliser les apports journaliers suivant :

❖ A1 = 0,6 litre (point de flétrissement)

- ❖ A2 = 0,7 litre
- ❖ A3 = 0,8 litre
- ❖ A4 = 0,9 litre (point de saturation)

3. CONDUITE DE L’ESSAI ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Cet essai a été effectué dans les pots suivant un dispositif en blocs aléatoires complètement randomisés avec quatre traitements comportant chacun trois répétitions.

Les traitements étaient constitués des apports hydriques et quatre variétés bio-fortifiées.

3.1. Le tableau ci-dessous présente le dispositif expérimental utilisé

A1 (CODMLB001)	A1 (NUA100)	A1 (RWR10)	A1 (HM21-7)
A2 (HM21-7)	A2 (RWR10)	A2 (CODMLB001)	A2 (NUA100)
A4 (RWR10)	A4 (NUA100)	A4 (HM21-7)	A4 (CODMLB001)
A3 (NUA100)	A3 (HM21-7)	A3 (CODMLB001)	A3 (RWR10)
A1 (CODMLB001)	A1 (RWR10)	A1 (NUA100)	A1 (HM21-7)
A4 (HM21-7)	A4 (CODMLB001)	A4 (RWR10)	A4 (NUA100)
A2 (NUA100)	A2 (RWR10)	A2 (HM21-7)	A2 (CODMLB001)
A3 (RWR10)	A3 (CODMLB001)	A3 (NUA100)	A3 (HM21-7)
A1 (CODMLB001)	A1 (HM21-7)	A1 (RWR10)	A1 (NUA100)
A4 (HM21-7)	A4 (NUA100)	A4 (CODMLB001)	A4 (RWR10)
A2 (RWR10)	A2 (CODMLB001)	A2 (NUA100)	A2 (CODMLB001)
A3 (NUA100)	A3 (HM21-7)	A3 (HM21-7)	A3 (RWR10)

Il ressort de ce tableau, le quatre types d’apports que nous avons effectué et quatre variétés que nous avons utilisé dont :

A1 = 0,6 litre par jour (point de flétrissement)

A2 = 0,7 litre par jour

A3 = 0,8 litre par jour

A4 = 0,9 litre par jour (point de saturation)

Pour les variétés nous avons : V1 = CODMLB001, V2 = RWR10, V3 = HM21-7, V4 = NUA100

3.2. Conduite de l’essai

Le semis s’est effectué dans les pots en plastique. Les pots ont été perforés à la base et aux flats pour éviter que l’eau de pluie ou d’arrosage ne stagne et que ça n’asphyxie pas les racines. Chaque pot avait le sol, et le semis a réseau de deux graines par poquet.

Pour éviter les interactions avec les éléments du sol, les pots ont été installés sur des étales en planches construits à 40Cm du sol, sa toiture a été faite à l’aide du sachet serre pour permettre à la lumière d’atteindre les végétaux. Ensuite nous avons étiqueté tous les pots pour éviter des confusions entre les différents traitements, afin d’empêcher les influences liées à

certaines conditions du milieu qui pouvaient d'une manière ou d'une autre influencer les résultats, nous avons pris soin d'espacer le pot de 20cm entre eux. Après l'analyse du sol les résultats ont été apportés dans le programme CROPWATER qui sert à estimer les propriétés hydrologiques du sol à l'aide de la granulométrie, humidité du sol, son Ph et le carbone. Les différents apports ont été appliqués dès le jour du semis à un taux de deux graines par pot.

3.3. Paramètres observés

a) Détermination des phases de développement

- La vitesse de croissance au quinzième et au trentième jour après le semis
- Le jour à la préfloraison à compter du semis jusqu'au jour où 50% des plantes amorcent leur premier bourgeon floral ou simplement lorsque la première grappe apparaissait.

b) Les paramètres de rendement

La dernière récolte avait eu lieu le 23Août 2021, toutes les gousses étaient déjà bien sèches. La récolte se faisait par arrachage des gousses sur chaque plant selon les traitements. Après séchage au soleil et dégaussage, les poids secs des graines selon les traitements fut déterminé. En suite les mesures du poids de 100 graines furent déterminées.

4. RESULTATS

4.1. Résultats de l'analyse de la variance de rendement en fonction des variétés

Source de variation	DL	CM	Fobs	Fr	Décision
Variétés de haricot	3	0,070758	15,035	$2,702.10^{-06}$	***

Légende : ***= hautement significatif, **=très significatif, *=significatif.

Le rendement de ces variétés se diffère du fait qu'elles n'ont pas le même génotype et diffère de site d'amélioration. Leurs résistances se différencient aux différentes humidités.

Les résultats issus de l'analyse de la variance ont présenté des différences hautement significatives entre le rendement et les variétés. La variété RWR10 a augmenté le rendement par rapport aux trois autres variétés, soit 0,53t/ha suivie de la variété HM21-7 avec 0,50t/ha, en suite NUA100 avec 0,45t/ha et enfin la variété CODMLB001 qui a donné un faible rendement par rapport aux autres avec 0,42t/ha.

4.2. Résultats du rendement en fonction des apports hydriques

Les résultats issus de l'analyse de la variance ont présenté des différences hautement significatives entre le rendement et les apports hydriques. Le deuxième apport a accru le rendement par rapport aux trois autres avec 7,12T/ha, suivis du troisième apport avec 5,85T/ha et du premier apport avec 5,67T/ha et enfin le quatrième apport qui y a donné le faible rendement de 5,15T/ha.

4.3. Résultats de l'analyse de la variance de la vitesse de croissance en fonction des apports hydriques

Source de variation	DL	CM	Fobs	Fr	Décision
Apports hydriques	3	122,842	53,5698	$1,418.10^{-12}$	***

Légende : ***=hautement significatif, **=très significatif, *=significatif

Les résultats issus de l'analyse de la variance ont présenté des différences hautement significatives ($P < 0,01$) entre la vitesse de croissance et les apports hydriques. Le premier apport (0,6litre/jour) a produit une vitesse de croissance supérieur aux autres apports pour la culture de haricot soit 6,3cm/semaine suivit du quatrième apport (0,9litre/jour) qui a aussi augmenté la vitesse de croissance jusqu'à 4,3litre/semaine, suivit de deuxième apport (0,7litre/jour) ce qui a augmenté la vitesse de croissance jusqu'à 3,4 cm/semaine. L'apport qui a donné moins de vitesse de croissance est le troisième apport (0,8litre/jour) avec 2cm/semaine.

4.4. Résultat de l'analyse de la variance de vitesse de croissance en fonction des variétés de haricot

Source de variation	DL	CM	Fobs	Fr	Décision
Variétés de haricot	3	15,437	6,8376	0,001258	**

Légende : ***=hautement significatif, **=très significatif, *=significatif

Les résultats de cette analyse de la variance de vitesse de croissance en fonction des variétés ont présenté des différences très significatives ($P < 0,01$) entre la vitesse de croissance et les variétés. La variété CODMLB001 a produit une vitesse de croissance supérieur aux autres variété soit 5,4 cm/semaine, suivit de RWR10 ce qui a augmenté la vitesse de croissance jusqu'à 4,8 cm/semaine, suivit de HM21-7 avec 4,1cm/semaine et enfinNUA100 avec 3,7 cm/semaine.

4.5. Résultat de l'analyse de la variance de la hauteur en fonction des apports hydriques

Sources de variation	DL	CM	Fobs	Fr	Décision
Apports hydriques	3	21,083	1,1503	0,3438	0

Légende : ***=hautement significatif, **=très significatif, *=significatif, 0=pas la différence

Les analyses statistiques nous montres qu'il n'y a pas les différences significatives entre la hauteur des plantes et les différents apports hydriques.

4.6. Résultat de l'analyse de la variance de la hauteur en fonction des variétés

Source de variation	DL	CM	Fobs	Fr	Décision
Variétés de haricot	3	9,625	0,5251	0,6681	0

Légende : ***=hautement significatif, **=très significatif, *=significatif, 0=pas de différence.

Partant des résultats des analyses statistiques nous remarquons que ces différentes variétés n'avaient aucune influence sur la hauteur du fait qu'il n'a eu de différence significative du point de vue hauteur des plantes.

5. DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Dans cette étude, il est important de situer les résultats obtenus par rapport à ceux des autres chercheurs dans le domaine. Eu égard à ceux qui précédés et analyses effectuer concernant le rendement, il a été démontré qu'il y avait des différences significatives ($P < 0,05$) entre le rendement et les variétés. La variété RWR10 avait donné le meilleur résultat, elle a arrivé au rendement de 0,53t/ha soumise aux mêmes apports que les autres variétés. De ce qui y est des apports hydriques

c'est le deuxième apport qui a aussi donné un meilleur résultat par rapport aux autres. L'irrigation est une technique agricole qui consiste à apporter de l'eau à la culture ou arroser artificiellement la terre où se trouvant la culture.

Actuellement, environ 20% des terres arables autour du monde sont irriguées, et ces terres fournissent environ 40% de l'approvisionnement alimentaire au niveau mondial. (SEMCHEDDINE,2008). La variabilité des facteurs écologiques implique l'aptitude pour chaque organisme de s'adapter. Suite à sa tolérance aux différents apports d'eau et à sa bonne performance du rendement quel que soit l'écologie, il serait le mieux indiqué pour les régions où la variation climatique interannuelle est forte en ce qui concerne la pluviosité.

De tous les géotypes testés, les accroissements significatifs des rendements sont obtenus avec les géotypes CODMLB001, RWR10, HM21-7 à la suite des applications de gestion intégrée de la fertilité (combinaison Chaux-Fumier-Engrais NPK) du sol pour le rendement, les teneurs en micronutriments (fer et zinc) et la protection contre les bios agresseurs (les pourritures racinaires, les taches anguleuses et la mouche du haricot). Ce comportement reste identique quel que soit le site, les saisons et les années culturales. L'utilisation simultanée de ces facteurs permet l'amélioration quantitative et qualitative de la production du haricot dans les différentes zones de production de la RDC (KANYENGA LUBOBO.A, 2012)

Les résultats issus de la vitesse de croissance ont montré des effets hautement significatifs en fonction des variétés. CODMLB001 était la variété qui a présenté une bonne vitesse de croissance du fait que sur cette variété, les plantes avaient développé un bon diamètre au collet.

Une différence hautement significative s'est montrée entre la vitesse de croissance dans la plante à différents apports hydriques. Cette différence peut être justifiée par l'effet de la sensibilité de haricots bios fortifiés à l'excès et à la carence en eau.

Etant très sensible aussi bien à un excès d'eau qu'à un déficit d'eau dans le sol, la texture et structure du sol sont les deux facteurs physiques les plus importants pour la culture du haricot puisqu'elles déterminent la capacité de rétention d'eau. Les sols sableux, a un faible pouvoir de rétention de l'eau ce type de sol est donc à proscrire parce que les effets de la sécheresse sont très néfastes pour le haricot. De même, les sols argileux à structure massive, sur les quels l'eau à tendance à stagner sont également à proscrire parce que une inondation ou même une saturation permanente de l'horizon de surface du sol arrêtecomplètement la croissance des racines du haricot et entraine la pourriture de la plante. Le haricot est souvent très sensible à un niveau de la nappe phréatique trop élevé dans les sols des marais mal drainés. Il est recommandé de maintenir la nappe au moins à 50 Cm de la profondeur (GODDERIS, 1995). Quant aux excès d'eau, le haricot est préjudiciable durant tout le cycle, notamment sur le plan sanitaire (PAPAGEORGIU I, et al, 1987).

En ce qui concerne la surface foliaire, et la hauteur de la plante en fonction des apports hydriques et la hauteur de la plante en fonction des variétés bio fortifiées de haricot il n'y avait pas des différences significatives. Du fait que lors de l'amélioration, la hauteur de plantes n'en fait pas partie, l'efficience de la sélection augmentait avec l'augmentation de l'intensité de la sélection,tandis que l'efficience n'avait pas améliorer l'utilisation de la hauteur deplants ou d'autres composantes du rendement en lieu et place de rendement lui-même (BOYCE et al. 1947).

Ce travail avait comme objectif de comparer l'adaptation de trois variétés bio fortifiées CODMLB001, HM21-7, RWR10 et la variétéNUA100 à des apports hydriques différents de manière à promouvoir leur culture dans la zone. Il a été question de déterminer la duréedu cycle

phénologique de quatre différentes variétés, évaluer le rendement en graines, vitesse de croissance, surface foliaire et la hauteur de plans en fonction de ces apports d'eau.

Les résultats obtenus ont montré que :

- La variété RWR10 s'est bien adaptée à ces différents apports en ce qui concerne le rendement, suivie de HM21-7, après la variété locale NUA100 et en fin CODMLB001,
- Il, n'y avait pas les différences à ce qui concerne la hauteur de plans et la surface foliaire,
- La variété CODMLB001 a donné la meilleure vitesse de croissance suivie de RWR10, après vient HM21-7 et en fin la variété NUA100,
- L'apport du point de flétrissement avait donné la meilleure vitesse de croissance suivi de celui de point de saturation du sol utilisé,
- Le deuxième apport hydrique a donné un bon rendement, suivi du troisième apport et en fin le premier apport,

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Anonyme, 2002. Mémento de l'Agronome, CIRADE, Paris, p1691

2. Boudouin JP., Venderborrgt T., Kimani P.M., et Mwangomb'ombe A.W., 2001. Le haricot commun. In raemaekers, Agriculture en Afrique tropicale. DGCI, Belgique, p 337-355
3. Borgot, M., 1989. Les techniciens d'agriculture tropicale : les légumineuses vivrières. CTA, Paris, p161
4. Boyce, S.W. ; Copp, L.G.L. ; and Frankel, O.H. 1947. The effectiveness of selection for yield in wheat. *Heredity* 1 :223-233.
5. BOYER JS (1976) Water deficit and photosynthesis. In Kozlowski TT (ed) Water deficit and plant growth, pp 153-190. Academic Press, London
6. Breckle SW, 2002 Water's vegetation of the earth. Fourth edition. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
7. Chamaa E., Bidou J. E., Boureau Y. Y., Ndagiriyehe A., Gakiahe G., Muzaliwa W., et Sebakunzi N., 1981 : Atlas de la ville de Bukavu. CERUKI (I.S.P/Bukavu)
8. CIAT, 1987. Etapes du développement de la plante du haricot commun. Cali, Colombie
9. Cornic G., Briantais 1991 Partitioning of photosynthetic electron flow between a Karnd O in C3 leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO2 concentrations and during drought stress.
10. Cornic G., Fresneau C 2002 Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. *Annals of Botany* 89, 887-894
11. Cornic G., Massacci. 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In : Photosynthesis and the environment, N.R Baker (ed). Advances in photosynthesis Vol 5 Govindjee series editor. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ISBN 0-7923-4316-1
12. CORNIC, G. 2008. Effet de la contrainte hydrique sur la photosynthèse foliaire, N.R Baker (ed). Advances in photosynthesis Vol 5 Govindjee series editor. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ISBN 0-7923-4316-1
13. DEMOL J., 2002. Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Les presses agronomiques de Gembloux. Belgique.
14. Duke J.A., 1983. *Phaseolus vulgaris*, Newcrop : Handbook of Energy Crops., Purdue University, inédit, 10 p. (<http://hort.purdue.edu/newcrop>)
15. Dupriez H, Philippede leener, 1990. Le chemin de l'eau. Terre et vie, le Harmattan, Bruxelles, P1
16. FAO, 2011. Glossaire de la gestion intégrée des éléments nutritifs (<http://fao.org>).
17. FPA, 2007 : L'Afrique et le changement climatique aperçus n°1, <http://www.oecd.org/dataoecd/21/22/40109866.pdf>.
18. Granier C., Tardieu F, 1999. Water deficit and spatial pattern of leaf development. Variability in responses can be simulated using a simple model of leaf development. *Plant Physiol.* 119, 609-619
19. Kanyenga L. A, 2012. Adaptation des accessions variétales de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) Bio fortifié. Thèse, Inédit, UNILU/Lubumbashi, p17
20. Munns R., Richard A.J et Lauchli A ; 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, N° 5, pp. 1025-1043.

21. Obaton M., Miquel M., Robin P., Conjero G., Domenach A.M., Bardin R., Influence du déficit hydrique sur l'activité nitrate réductase et nitrogénase chez le soja (*Glycine max* L. Merr. cv. Hodgson), C. R. Acad. Sci. 294 (1980) 1007–1012.
22. Serraj R., Roy G., Drevon J.J., Salt-stress induces a decrease in the oxygenuptake of soybean nodules and in theirpermeability to oxygen diffusion, *Physiol. Plant* 91 (1994) 161–168.
23. Singleton P.W., Bohlool B.B., Effect of salinity on the functional components of the soybean-Rhizobium japonicum symbiosis, *CropSci.* 23 (1983) 815–818. [32] Singleton P.W., Swaify A.E., Bohlool B.B., Effect of salinity on Rhizobium growth and survival, *Appl. Environ. Microbiol.* 44 (1982) 884–890.
24. Souissi A., Effets du sel sur le comportement physiologique du pois chiche (*Cicer arietinum*), en relation avec le mode de nutrition azotée, DEA, Tunis, 2000, 94 p.
25. Velagaleti R.R., Marsh S., Influence of host cultivars and Bradyrhizobium strains on the growth and symbiotic performance of soybean under salt stress, *Plant and Soil* 119 (1989) 133–138.
26. Yadav N.K., Vyas S.R., Salts and pH tolerance of rhizobia, *Folia Microbiol.* 18 (1973) 242–247.
27. Yang Y., Kim S.-H., Timlin D.J., Fleisher D.H., Quebedeaux B., Reddy V.R. 2008. Simulating canopy transpiration and photosynthesis of corn under contrasting water regimes using a coupled model. *Transactions of ASABE* (in revision).
28. Yuan G., Luo Y., Sun X., Tang D., 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the north china plain. *Agricultural Water Management* 64(1) : pp.29-40.