

ISBN/ISSN : 678-99919-62-55-9

ANNALES DE L'UNIVERSITE DE PARAKOU



Parakou, Bénin

Série

"Sciences Naturelles & Agronomie"

VOL 2, N° 1, (2011)

ISBN/ISSN : 678-99919-62-55-9

ANNALES DE L'UNIVERSITE DE PARAKOU



Parakou, Bénin

Série

"Sciences Naturelles & Agronomie"

VOL 2, N° 1, (2011)

Equipe d'édition

Président: Professeur Simon A.
AKPONA
Vice Président : Professeur Nestor
SOKPON Secrétaire :
Professeur Prosper GANDAHO

Série : Sciences Naturelles & Agronomie

Comité de Publication

Directeur de Publication : Professeur Nestor SOKPON

Secrétaire de publication : Docteur Ernest GOUDEGNON

Membres : Docteur Sanni DOKO A. ; Docteur Is Haq DAOUDA ;
Professeur Ibrahim ALKOIRET ; Docteur Léonard AFOUDA ;
Professeur Christine OUNSAVI

Comité de Lecture

Prof S. ALIDOU (Sciences de la Terre), Prof A. SANNI (Biotechnologie), Prof S. A. AKPONA (Biochimie), Prof. M. BOKO (Climatologie), Prof G. BIAOU (Economie Rurale), Prof. B. SINSIN (Ecologie Végétale et Animale), Prof. V. AGBO (Sociologie), Prof N. SOKPON (Sciences Forestières), Prof J. LEJOLY (Ecologie Tropicale), Prof K. AKPAGANA (Ecologie Végétale), Prof A. AKOEGNINOU (Botanique), Prof P. ATACHI (Entomologie), Prof D. KOSSOU (Phytotechnie), Prof A. FANTODJI (Biologie Marine), Prof J. HOUNHOUNGAN (Technologie Alimentaire), Prof. L. J. G. VAN de MAESEN (Botanique), Prof Ph. LALEYE (Hydrobiologie), Prof A. AHANCHEDE (Malherbologie), Prof J. CT. CODJIA (Zoologie), Prof. S. ADOTE-HOUNZANGBE (Parasitologie), Prof E. AGBOSSOU (Hydraulique), Prof B. BIAO (Economie), Prof F. A. ABIOLA (Ecotoxicologie), Prof G. A. MENSAH (Zootechnie), Prof M. C. NAGO (Biochimie Alimentaire), Prof J. ZOUNDJIEKPON (Génétique), Prof R. MONGBO (Sociologie Rurale), Prof N. FONTON (Biométrie)

Série

"Sciences Naturelles & Agronomie"

VOL 2, N° 1, (2011)

Table des matières

Contenu et auteurs	Pages
N. Sokpon, F. Dotonhoué, C. Ouinsavi PATTERNS OF ECOLOGICAL STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF KAPOK TREE (CEIBA PENTANDRA) POPULATIONS IN BENIN	5-26
V. J. Mama, C. J. Iwikotan, N. Taiwo EVALUATION DES PERFORMANCES DES TECHNIQUES ENDOGENES DE PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS AU BENIN	27-54
G. Lawane, S.P. Sougnabé, V. Lenzemo, F. Gnokreo, N. Djimasbeye, G. Ndoutamia EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'ASSOCIATION DES CEREALES ET DU NIEBE COMME PLANTE FAUX-HOTE DU STRIGA HERMONTHICA (DEL.) BENTH ET LEURS RENDEMENTS SUBSEQUENTS	55-70
G. D. Dagbenonbakin, Emile C. Agbangba, V. Kindomihou A PRELIMINARY DRIS MODEL PARAMETERS FOR MINERAL NUTRITION ASSESSMENT OF GROUNDNUT (ARACHIS HYPOGAEA) IN BENIN (WEST AFRICA)	71-91
I. Toko Imorou, J. A. Yabi, M. N. Assogba, M. Adam Sanni, H. A. Elègbé EVALUATION DES POTENTIALITES PISCICOLES ET SOCIOECONOMIQUES DES RETENUES D'EAU PASTORALES DANS LA COMMUNE DE BANI KOARA (NORD-EST DU BENIN)	92-120
Baco M. N., Moumouni M. I., Yallou C. G., Sanni Ogbon A., Tahirou A. EVALUATIONS AGRONOMIQUE, ECONOMIQUE ET SOCIALE DE NOUVEAUX MAÏS TOLERANTES A LA SECHERESSE DANS LES AGRO SYSTEMES DU NORD-BENIN	121-145
A. R. Abdoulaye, R.Y. M. A. Aboudou, L. M. Oyede GESTION DURABLE DES EAUX DE RUISSELLEMENT EN MILIEU URBAIN TROPICAL : CAS DE LA VILLE DE PARAKOU (REPUBLIQUE DU BENIN)	146-176

PATTERNS OF ECOLOGICAL STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF KAPOK TREE (*CEIBA PENTANDRA*) POPULATIONS IN BENIN

N. Sokpon; F. Dotonhoué ; C. Ouinsavi.

Laboratory of Forestry research, Faculty of Agronomy, University of Parakou, BP 123, Parakou;
nsokpon@yahoo.fr; dofulgence@yahoo.fr; ouinsch@yahoo.fr

Abstract

Ecological structure and morphological variation of *Ceiba pentandra* populations were assessed in Benin using transect sampling method and principal component analysis as well as cluster analysis on the basis of morphometric parameters related to trees growth and seeds production. Cluster analysis of *C. pentandra* individuals based on these variables revealed six clusters with 29.29% of dissimilarity which were identified respectively as population of Kpédékpo, Pobè, Natitingou, Bèmbèrèkè, Djougou and Tanguiéta. The stem density was low and decreased from south to North indicating the existence of rainfall gradient south – north.

Analysis of variance revealed significant difference ($P < 0.01$) among populations as far as morphological variation is concerned. Across the ecological zones, a significant variation in *C. pentandra* fruit morphology and seeds production was also observed ($P < 0.001$). Standardized form of Morisita's index of dispersion (I_d) revealed a clumped spatial distribution pattern for all *C. pentandra* populations identified across the different climatic zones. Although it could be assumed that the variation observed in morphology and seed production was strongly determined by environmental factors, much more work is needed to elucidate patterns of genetic diversity in relation to distribution, ecology and morphological variables in order to identify populations from genetic point of view.

Keywords: ecological structure, morphological variation, *Ceiba pentandra*, spatial distribution, environmental factors.

Introduction:

Ceiba pentandra also known as the kapok or silk cotton tree is a widespread rainforest tree which occurs in the Neotropics but also in equatorial and West Africa where two distinctive natural forms and one hybrid are found (Dick C. W. et al., 2007). In Benin *C. pentandra* is widely distributed from the coast to Bembèrèkè latitude ($10^{\circ}11'57.12''$) the Northern east and to Tanguiéta latitude ($10^{\circ}37'12.4''$) in the Northern west across three climatic zones along the south- north rainfall gradient.

C. pentandra is multi-purpose and sacred tree with medicinal and mystic properties, and can provide numerous food uses. It is among the most valuable timber species in Benin and Ghana and rank second in both the total volume of export and the revenue generated (TIDD, 2003). According to (FAO, 2001) *Ceiba pentandra* and other species are at risk of extinction at short and medium term by their selective logging. This over exploitation trend may have certain impact on *C. pentandra* populations' structure with likely variable consequences across the three climatic zones regarding the differences in water availability between these regions (Gaoue and Ticktin, 2007). Sapkota et al (2009) found that the dispersion of most of species changed with changes in disturbance intensities reflecting their responses to changes in their habitat conditions. Furthermore, the combined effects of many biotic and abiotic disturbance factors affect species' distribution patterns (Prieto, 2000). According to Ouinsavi and Sokpon (2010) morphological structure and spatial distribution of a species is an output of combined historical and anthropic factors as well as ecological and biological factors. The spatial distribution pattern in plant populations is determined by many abiotic and biotic factors, such as seed dispersal (Plotkin et al. 2000). Many tropical tree species show spatial aggregation at varying scales, generally from higher to lower aggregation or random distribution with age increase (Ng et al. 2004). Spatial genetic structure of plants within a natural population is primarily influenced by the pattern and distance of pollen and seed dispersals (Ennos, 1994). Therefore, there is a relationship between spatial genetic structure and spatial distribution in plants populations. Indeed, simulation studies have shown that the spatial distribution pattern of trees and microhabitat selection can influence the

spatial genetic structure of tree populations (Doligez et al. 1998). Furthermore, the ecological and evolutionary processes that affect the spatial distribution pattern can also be contributing factors to the observed significant spatial genetic structure (Ng et al. 2004).

This paper aims to assess ecological structure and spatial distribution of *Ceiba pentandra* populations across different climatic zones in order to support the species' conservation actions.

2. Methods

2.1. Study areas

The study was carried out within the three climatic zones of Benin where *Ceiba pentandra* is widely distributed.

The Guinean zone located between 6°25' and 7°30'N is characterized by bimodal rainfall with a mean annual rainfall of 1200 mm. The mean annual temperature varies from 25° C to 29° C and the relative humidity is between 69–97 %. The soils are either deep ferrallitic or rich in clay, humus and minerals. The vegetation consists of dense semi-deciduous forests and Guinean savannahs.

The Sudanian zone ranges from 9°45' to 12°25'N with annual rainfall generally less than 1000mm and the relative humidity varies from 18% to 99% (highest in August). The temperature varies from 24° C to 31°C. The Sudanian zone has hydromorphic soils, well drained soils, and lithosols. The vegetation of this zone is mainly composed of shrub savannahs with trees of smaller size.

The Sudano-Guinean Transition zone ranges from 7°30'to 9°45'N with bimodal rainfall which occurs, from May to October, and lasts after about 113 days with an annual total rainfall varying between 900mm and 1110 mm. The annual temperature ranges from 25° C to 29° C, and the relative humidity from 31% to 98 %. The soils in this zone are ferruginous with variable fertility. The vegetation of the Sudan-Guinean transition zone is characterized by a mosaic of woodland, dry dense forests, tree and shrub savannahs and gallery forests.

Table 1: Characteristics of the studied populations of *Ceiba pentandra* in Benin

Geographic zones	Climatic zones	Populations	Size	Main geographic co-ordinates
South	Guinean	Pobè	120	06°57'40.8''N 002°38'50.4''E
South	Guinean	Kpédékpo	80	07°01'16.2''N 002°11'1.2''E 09°53'47.6''N
North	Sudanian	Djougou	42	001°32'23.9''E 10°11'57.12''N ;
North	Sudanian	Bèmbèrèkè	33	02°39'14.88''E 10°18'00.8''N 001°22'53.1''E
North	Sudanian	Natingou	29	10°37'12.4''N 001°16'16.5''E
North	Sudanian	Tanguiéta	20	

2.2. Sampling methods

The *Ceiba pentandra* trees inventory was carried out using a transect methods (Ouinsavi, 2006) modified from the Buckland et al.'s (1993) plotless distance sampling method for estimating abundance of biological populations. As *Ceiba pentandra* trees are sparsely distributed across the landscape and roadside, either on farms and public places or in sacred groves we choose seven transects through the distribution range of the species in Benin. Thus, 150 m width transects with 10 km length were used for trees inventory. All *C. pentandra* trees were registered using the GPS.

2.3- Morphometric data analysis

Six morphometric parameters were analysed including growth parameters such as the diameter at the breast height (dbh), total height (Ht), ratio dbh/Ht, and parameters related to seeds production such as length and diameter of fruit (LF; DF) and the number of seeds per fruit (NSF). These parameters were measured on *C. Pentandra* trees across

the species' distribution range. Principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis was performed on the morphometric data using the correlation matrix to discriminate *Ceiba pentandra* populations. One way-ANOVA was performed to test for variation in morphological characters among populations and across ecological zones.

2.4. Assessing ecological structure and spatial distribution of *C. pentandra* populations

Structural characterization was assessed on the basis of tree's measurements such as the diameter at breast height (dbh) and the total height (Ht). Dbh data were used to draw the diameter class distribution of the species for each population and the stand basal area (G) was calculated according to the standard formula: $G = \pi D^2/4$ where d is the DBH. Tree number per km² was estimated using Buckland *et al.*'s (1993) estimator of density (D) expressed as $D = n/2Lw$, where *n* is the number of *C. pentandra* trees recorded, *L* the total length of transect and *w*, the stripe width.

To establish the stem diameter structure of *C. pentandra* stands, all individuals of the species were grouped into diameter classes of 10 cm in order to obtain enough classes (at least 10). This allows the adjustment of Weibull theoretical distribution to the observed shape. The observed different diameter structures were adjusted to the 3-parameters-Weibull distribution because of its flexibility (Johnson and Kotz, 1970). The density function, if is expressed for a tree diameter *x* as follows:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right]$$

Where *x* = tree diameter; *a* = 10 cm for the diameter structure; *b* = scale parameter linked to the central value of diameters; *c* = shape parameter of the structure.

For each identified population, the diameter values of the trees were used to estimate the parameters *b* and *c* of (10) based on the maximum likelihood method (Johnson and Kotz, 1970). The log-linear analysis

(Caswell, 2007) was performed in SAS (SAS Inc., 1999) for each case to test the adequacy of the observed structure to the Weibull distribution. The considered model described by Caswell (2001) is

$$\text{Log Frequency} = F + F_{\text{class}} + F_{\text{adjustment}} + \varepsilon$$

F = mean frequency of the classes; F_{class} = none randomly gap linked to the differences in frequency between classes; $F_{\text{adjustment}}$ = none randomly gap linked to differences between observed and theoretical frequencies; ε is the error of the model. The hypothesis of adequacy between both distribution is accepted if the probability value of the test is higher than 0.05

Spatial distribution pattern was assessed using the standardized form of Morisita's index (Krebs, 1999) in order to find out whether any significant difference existed in the dispersion patterns within and among *Ceiba pentandra* populations across different climatic zones.

To calculate the standardized form of Morisita's index the morisita's index of dispersion (I_d) was first calculated, along with two critical values, the uniform index (M_u) and the clumped index (M_c) (Sakpota et al., 2009). The calculations were performed as follows:

$$I_d = n \left[\frac{\sum x^2 - \sum x}{(\sum x)^2 - \sum x} \right] M_u = \frac{\chi^2_{0.975} - n + \sum x}{(\sum x) - 1} \quad M_c = \frac{\chi^2_{0.025} - n + \sum x}{(\sum x) - 1}$$

Where n is the sample size, x is the number of individuals, $\chi^2_{0.025}$ and $\chi^2_{0.975}$ are the values of chi-squared with (n-1) degrees of freedom that have 2.5% or 97.5% of the area to the right. The standardized Morisita's index (I_p) is then calculated by one of the four following formula:

(a) When $I_d \geq M_c > 1$, $I_p = 0.5 + 0.5 \left[\frac{I_d - M_c}{n - M_c} \right]$

- (b) When $Mc > Id \geq 1$, $I_p = -0.5 \left[\frac{I_d - 1}{Mu - 1} \right]$
- (c) When $1 > Id > Mu$, $I_p = -0.5 \left[\frac{I_d - 1}{Mu - 1} \right]$
- (d) When $1 > Mu > Id$, $I_p = -0.5 + 0.5 \left[\frac{I_d - Mu}{n - M_u} \right]$

I_p values range from -1 to +1. A value of zero indicates a random dispersion pattern, and a value higher than zero indicates a clumped pattern, a value below zero indicates a uniform pattern.

3. Results

3.1. Principal component analysis and morphological variation

Principal component analysis based on morphological variables revealed that the first two principal axes (table 2) explained 76.6% of total variation. 62.8% of variation was explained by the first principal axis with eigenvalue of 4.37 while the second axis explained 14.1% of variation with eigenvalue of 0.98.

The first axis has taken into account all the morphological variables used of which (Dbh, and Dbh/Ht) was highly correlated with this axis (respectively with -0.46 and -0.42 of coefficient of correlation). The second axis has taken into account less variables and only the variables (DF and NSF) were highly correlated with it (respectively with -0.85 and -0.46 of coefficient of correlation). Thus, the first axis describes tree size while the second ones symbolize fruit morphology.

The principal component axis 1 separated all *C. pentandra* individuals of south populations from individuals from north populations. The south populations from region with a lot of rainfall occupied the positive part of the axis while the north populations of *C. pentandra* under very little rainfall were at negative part. Thus, axis 1 symbolized the rainfall

gradient south-north. Along the principal component 2, *C. pentandra* individuals with low fruit diameter from population of Kpédékpo, Natitingou and Tanguiéta which occupied the positive part were separated from those from Pobè and Bèmbèrèkè populations with high fruit diameter. This axis might interpret the expression of genetic structure among and within these populations since it separated in the same group, south populations from north populations under different climatic conditions.

Cluster analysis of *C. pentandra* individuals based on the same variables revealed six clusters with 29.29% of dissimilarity (Fig. 1) which were identified respectively as population of Kpédékpo (Cluster 1), Pobè (cluster 2), Natitingou (cluster 3), Bèmbèrèkè (cluster 4), Djougou (Cluster 5) and Tanguiéta (Cluster 6) (Fig. 2).

Analysis of variance revealed significant difference ($P < 0.01$) among populations as far as morphological variation is concerned. Population of Kpédékpo contains the tallest individuals which produce fruits with low diameter ($DF = 12.21$) and high number of seeds per fruit ($NSF = 225$). Population of Pobè has also tall individuals ($Dbh/Ht = 0.03$) which produce fruits with high diameter ($DF = 15.12$) with high number of seed per fruit ($NSF = 233$). Population of Natitingou composed of individuals of medium height ($Dbh/Ht = 0.05$) characterised by low diameter fruit ($DF = 13.55$) low number seed per fruit ($NSF = 107$). Population of Bèmbèrèkè was also characterised by medium height ($Dbh/Ht = 0.051$) individuals which produce high diameter fruit ($DF = 15.89$) with high number of seeds per fruit ($NSF = 225$). The individuals of Djougou population was characterised by medium height ($Dbh/Ht = 0.055$) and medium fruit diameter ($DF = 14.87$) and low number of seeds per fruit ($NSF = 164$). The population of Tanguiéta was characterised by low height ($Dbh/Ht = 0.07$), low fruit diameter ($DF = 13.76$) and low number of seeds per fruit ($NSF = 153$).

Across the ecological zones, a significant variation in *C. pentandra* fruit morphology and seeds production (Table 3.) was observed ($P < 0.001$). The semi-deciduous forest zone and the transitional zone were noticed to

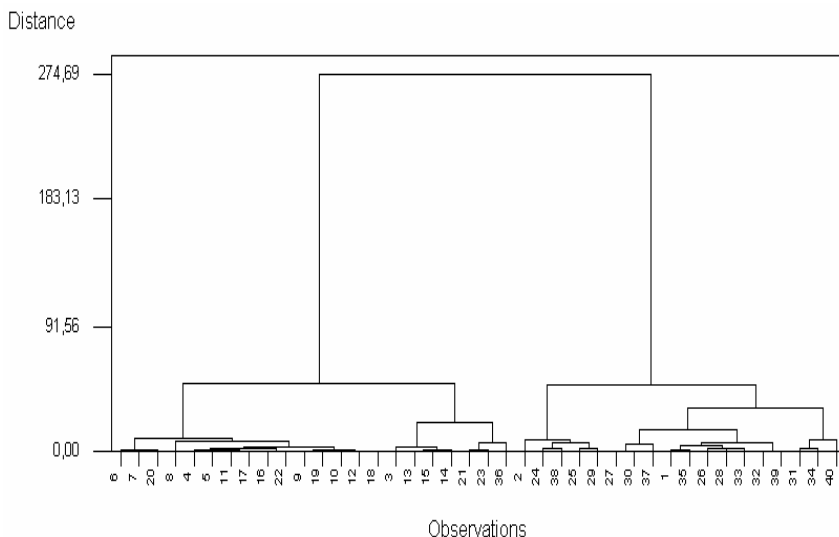


Fig. 2 - Dendrogram of *Ceiba pentandra* populations

Table 3 - Means values of fruit characteristics across ecological zones

Ecological zones	Length	Diameter	Number of seeds per fruit
Savannah	21,5 a	14,6 a	169 a
Sudano-Guinean transition	28,9 b	12,9 b	225 b
Semi deciduous Forest	28,9 b	13 b	226 b

3.2. Structural characteristics and spatial distribution of *Ceiba pentandra* populations

The structural characteristics of *C. pentandra* populations were summarized in the table 4.

C. pentandra stem density varied from 9 to 57 stems / km². The highest *C. pentandra* trees number per ha were recorded in the populations of semi-deciduous forests zone (Kpédékpo and Pobè) while the lowest stem density was obtained in the populations of Savannah zone. There is a significant difference between *C. pentandra* populations as far as trees number per km² is concerned. ($t= 3.667$; $p= 0.014$).

The stand basal area ranged from 0.038 to 0.115 m² / ha. *C. pentandra* populations also showed significant difference as far as stand basal area is concerned. ($t= 3.967$; $p= 0.011$).

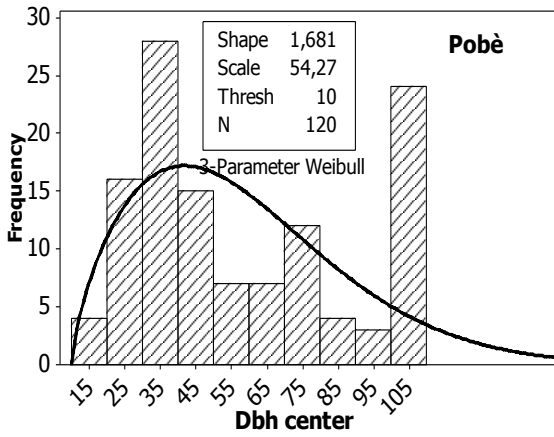
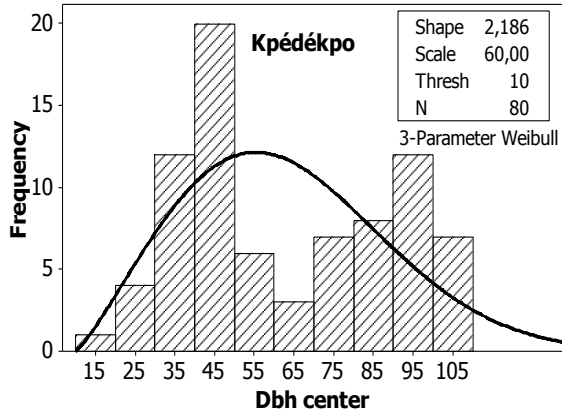
The diameter class distribution of *Ceiba pentandra* trees within populations (Fig. 3) adjusted to Weibull distribution, showed bell-shaped form with left dissymmetric distribution ($1 < c < 3.6$) indicating a predominance of individuals with small diameter (dbh) in the stands (Husch et al., 2003). This distribution is more characteristic for Pobe population with estimated $c = 1.681$. The young individuals of *C. pentandra*, mainly those of 35 cm diameter class centre were the most represented.

Standardized form of Morisita's index of dispersion (I_d) revealed a clumped spatial distribution pattern for all *C. pentandra* populations identified across the different climatic zones.

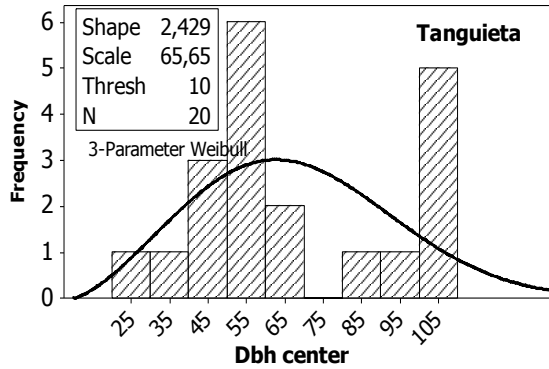
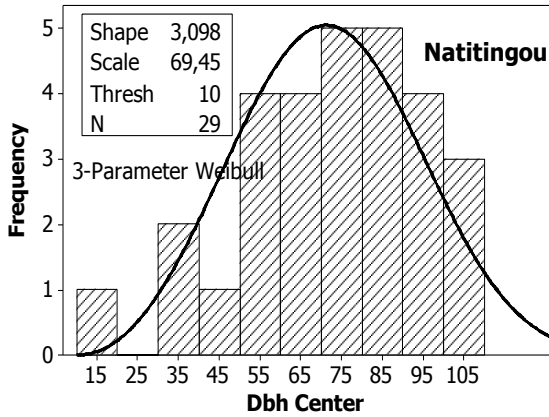
Table 4 - Structural characteristics of *Ceiba pentandra* populations

	Morisita's Index	Density (Ni/Km ²)	Stand basal area (m ² /ha)
Kpédékpo	0.51	57a	0,115a
Pobè	0.2	37b	0,16b
Natitingou	08	9c	0,11c
Tanguiéta	0.0	18d	0,038d
Bembèrèkè	0.9	19e	0,04e
Djougou	0.50	18f	0,04f
Student t		3.667	3.967
Probability		0.014	0.011

Means with same letter are not significantly different



PATTERNS OF ECOLOGICAL STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF KAPOK TREE (*CEIBA PENTANDRA*) POPULATIONS IN BENIN



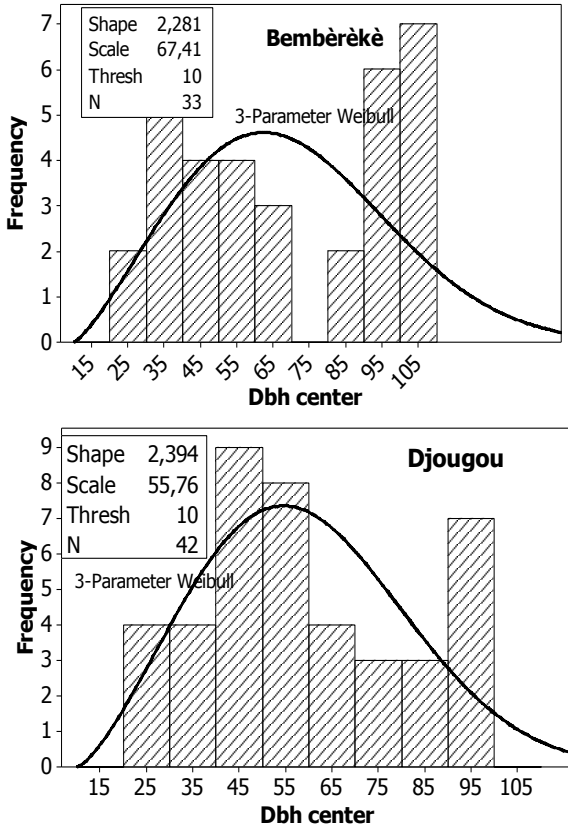


Figure3: Diameterclasses' distribution of *Ceiba pentandra* trees

4. Discussion

4.1. Morphological variation in *Ceiba pentandra* populations

The morphology of *C. Pentandra* individual varied significantly among population and according ecological zones. Our results revealed that populations from the south showed the best growth performance and produced the highest number of seeds per fruit. Several studies have indicated that morphological variation is apparently the result of an

adaptive response to the environment; For example, variation in growth traits and phenological traits is associated with a latitudinal and altitudinal range (Kleinschmit, 1993, Beaulieu *et al.*, 2004) or by contrasting climatic conditions (Bruschi *et al.*, 2003). The same result was found by Assogbadjo *et al.* (2005) on *Adansonia digitata* populations which showed significant variation in their morphology and productivity according to the climatic zones. Similar results were presented by Ouinsavi and Sokpon (2010) assessing morphological variation in *Milicia excelsa*. The authors pointed out that *M. Excelsa* populations were strongly influenced by environmental factors.

Morphological variation in *C. Pentandra* populations revealed patterns of adaptation of the species to environmental variation. This result made agreement with the statement of Hamann *et al.* (2005) that populations of species which occur over wide ecological amplitude are physiologically and morphologically differentiated. Other authors have found similar results in various plant species (Bruschi *et al.*, 2003 in *Quercus petraea*, Byrne *et al.*, 2003) in *Santalum spicatum*, Serrato *et al.*, 2004 in *ficus*, Ouinsavi and Sokpon, 2010 in *Milicia excelsa*) which they explained by the great heterogeneity of climate, physiography, soils and the geological history of study areas. Morphological variation was so pronounced that it has induced taxonomical uncertainties in *ficus* species identification (Serrato *et al.*, 2004). The morphological variation in *C. pentandra* reflected adaptation of the species to environmental conditions but also may have some genetic basis. For example, variation in growth rate among provenances from higher rainfall area and those from arid area in western Australian sandalwood (*Santalum spicatum*, Brand *et al.*, 1990), have been proved to indicate some genetic influence on growth characteristics as genetic differentiation of two lineages has been observed in cpDNA (Byrne *et al.*, 2003).

Although it could be assumed that the variation observed in morphology and seed production was strongly determined by environmental factors, much more work is needed to elucidate patterns of genetic diversity in relation to distribution, ecology and morphological variables in order to identify populations from genetic point of view.

4.2. *Ceiba pentandra* populations' structure and spatial distribution

The stem density recorded for *Ceiba pentandra* was low but higher than that reported by Ouinsavi and Sokpon (2010) and Assogbadjo et al. (2005) respectively on *Milicia excelsa* and *Adansonia digitata* using the same mega-transects inventory methods. This could be explained by easy cutting ability of *Ceiba pentandra* and by difference in human pressure. The stem density of *Ceiba* populations decreased from south to North indicating the existence of rainfall gradient south – north as supported by Sokpon, 1995.

The bell-shaped stem class distribution exhibited by *C. pentandra* populations supported the species temperament as light demanding species are known to show such distribution. They are gap demanding for their regeneration and mortality is higher in earlier stage under closed forest canopy (Geldenhuys, 1992; Sokpon and Biaou, 2002). Similar results were obtained for *M. excelsa* populations Ouinsavi and Sokpon, 2010.

Despite the effort of some farmers to maintain *C. pentandra* in agricultural landscape, ecological structure and demographic assessment in the species showed low population density and erratic ecological distribution throughout the species range. This is in accordance with the statement of Gijssbers et al. (1994), Harvey and Harber (1999) that the diversity and density of isolated trees in fragmented landscape are still slowly eroding through a combination of tree harvesting and natural death. The diameter class distribution showed lack of regeneration in almost all of the *C. pentandra* populations with few individuals in the small size classes suggesting a danger of physical extinction of the species. Harvey and Harber (1999) have explained such a situation by the fact that many of the primary forest tree species in fragmented landscape and pastures, that are relicts of the original forest do not regenerate in open habitats under management systems and they are not replaced after they die or are harvested. Therefore, as many of these species occur at low densities like *C. pentandra*, the elimination or natural death of even a few trees can result in the local loss of that species from the landscape (Guevara et al., 1998; Harvey et al, 2004). Although a strong family

genetic structure could be observed in morphological mutant of some species in extremely dense populations (e.g., number of individuals per area, Mosseler, 1992), low stand density due to intense harvesting may result in increased inbreeding as a result of increased self-pollination and self-fertilization (Rajora and Mosseler, 2001). Therefore controlling density can affect relative level of inbreeding and outcrossing depending on spatial genetic structure within populations and reproductive biology of the species.

Acknowledgement: We thank the African Forestry Research Network (AFORNET) for funding the field data collection.

Références

Assogbadjo, A. E., Sinsin, B., Codjia, J.T.C. Van Damme, P. (2005) Ecological diversity and pulp, seed and kernel production of Baobab (*Adansonia digitata*) in Benin. *Belgian journal of Botany*, 138, 47-56.

Baker HG (1965) The evolution of the cultivated kapok tree: a probable West African product. In: *Ecology and Economic Development in Africa* (ed. Brokensha D), pp. 185–217. Institute of International Studies, University of California, Berkeley, California.

Beaulieu J., Perron M., Bousquet J. (2004) Multivariate patterns of adaptive genetic variation and seed source transfer in *Picea mariana*. *Canadian Journal of Forest Research* **34**, 531-545.

Brand J.E., Ryan P.C., Williams M.R. (1999) Establishment and growth of sandalwood (*Santalum spicatum*) in South-Western Australia: The northampton pilot trial. *Aust. For.* **62**,33-37

Bruschi P., Vendramin G.G., Bussotti F. and Grossoni P. (2003) Morphological and molecular diversity among Italian populations of *Quercus petraea* (Fagaceae). *Annals of Botan y* **91**, 707-716.

Byrne M., MacDonald B., Broadhurst L., Brand J. (2003) Regional genetic differentiation in Western Australian sandalwood (*Santalum*

spicatum) as revealed by nuclear RFLP analysis. *Theoretical and Applied Genetics* **107**, 1208-1214.

Buckland S. T., Anderson D. R., Burnham K. P., and Laake J. L. (1993). Distance sampling : estimating abundance of biological populations. Chapman and hall, London.

Chan HT (1980). Reproductive biology of some Malaysian dipterocarps. II. Fruiting biology and seedling studies. *Malay. For.*, 43:438–451

Dick , C. W., Bermingham, E., Lemes, M. R., and Gribel, R., (2007) Extreme long-distance dispersal of the lowland tropical rainforest tree *Ceiba pentandra* L. (Malvaceae) in Africa and the Neotropics. *Molecular Ecology*, 16, 3096 – 3049.

Doligez A, Baril C, Joly HI (1998) Fine-scale spatial genetic structure with non-uniform distribution of individuals. *Genetics* **148**, 905–919

Ennos RA (1994) Estimating the relative rates of pollen and seed migration among plant populations. *Heredity* 72:250–259

FAO, 2001. Situation des forêts du monde. FAO, Rome. 200 p

Fox J.E.D, Brand J.E. (1993) Preliminary observations on ecotypic variation in *Santalum spicatum* L. Phenotypic variation. *Mulga Res. J.* **11**, 1-12

Gaoue, O. G. et Ticktin, T. (2007) Patterns of harvesting foliage and bark from the multipurpose tree *Khaya senegalensis* in Benin: variation across ecological regions and its impacts on population structure. *Biological Conservation*, 137, 424 - 436

Gijssbers HJM, Kessler JJ, Knevel MK (1994) Dynamics and natural regeneration of woody species in farmed parklands in the Sahel region (Province of Passore, Burkina Faso). *Forest Ecology and Management* **64**: 1-13.

Geldenhuys C.J. (1992)- The use of diameter distributions in sustained-Use management of forests: Examples from Southern Africa. In: Pearce, G.D., Gumbo, D.J.(Eds.), The Ecology and management of Indigenous forests in Southern Africa. Proceedings of an International Symposium, Victoria Falls, Zimbabwe, 27-29 July 1992. Zimbabwe Forestry Commission and SAREC, Harare, pp. 154-167.

Guevara S, Laborde J, Sanchez G (1998) Are isolated remnant trees in pastures a fragmented canopy? *Selbyana*, **19**: 34-43.

Kleinschmit J. (1993) Intraspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. *Annales des Sciences Forestières*, **50** (1), 166-185.

Krebs, C. J., (1999) *Ecological Methodology*, 2nd edition. Addison-Wesley Educational publishers, p. 620.

Hamann A., Smets P., Yanchuk A.D., Aitken S. N. (2005) An ecogeographic framework for *in situ* conservation of forest trees in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, **35**, 2553-2561.

Harvey CA, Tucker NIJ, Estrada A (2004) Live fences, isolated trees, and windbreaks: Tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. In Schroth G., Fonseca G.A.B., Harvey C.A., Gascon C., Vasconcelos H.L., Izac A. –M.N. (eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in Tropical landscapes*. Island Press, Washington, 261-289 p.

Harvey CA, Harber WA (1999). Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems*, **44**: 37-68.

Mosseler A. (1992) Life history and genetic diversity in red pine: implication for gene conservation in forestry. *Forest Chronicles*, **68**, 701-708.

Ng KKS, Lee SL, Koh CL (2004). Spatial structure and genetic diversity of two tropical trees species with contrasting breeding systems and different ploidy levels. *Mol Ecol* 13:657–669

Ng, K. K. S., Lee, S. L., Saw, L. G., Plotkin, J. B., Koh, C. L., (2006) Spatial structure and genetic diversity of three tropical trees species with different habitat preferences within a natural forest. *Trees Genetics and Genomes* 2: 121-131

Ouinsavi C, Sokpon N. (2010): Morphological Variation and Ecological Structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. C.C. Berg) populations across Different Biogeographical Zones in Benin. *International Journal of Forestry Research* Volume 2010, Article ID 658396, 10 pages doi:10.1155/2010/658396.

Plotkin JB, Potts M, Leslie N, Manokaran N, LaFrankie J, Ashton PS (2000) Species-area curves, spatial aggregation, and habitat specialization in tropical forests. *J Theor Biol* 207:81–99

Rajora O.P., Mosseler A. (2001) Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources. *Euphytica*, **118**, 197-212.

Sapkota, I. P., et al. (2009), Spatial distribution, advanced regeneration and stand structure of Nepalese Sal (*Shorea robusta*) forests subject to disturbances of different intensities. *Forest Ecol. Manage.*

Serrato A., Ibarra-Manriquez G., Oyama K. (2004) Biogeographie and conservation of the genus *Ficus* (Moraceae) in Mexico. *Journal of Biogeography* **31**, 475-485.

Sokpon N. And Biaou S.H. (2002)- The use of diameter distribution in sustained-use management of remnant forests in Benin: case of Bassila forest reserve in North Benin. *Forest Ecology and Management*, **161** : 13-25

Taylor J. C., 1960. *Senecology silviculture in Ghana*. Thomas Nelson and Sons Ltd, 418 p

TIDD, 2003. Report on export of wood products, Timber industry development division, Ghana forestry commission, july 2003.

EVALUATION DES PERFORMANCES DES TECHNIQUES ENDOGENES DE PRODUCTION DE CHARBON DE BOIS AU BENIN

V. J. Mama* ; C. J. Iwikotan** ; N. Taiwo***

*Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)06 BP 1105 Cotonou ;
mamvincent@yahoo.com

**Association pour Etudes et Réalisations des Aménagements en Milieu Rural Tel : 229 96250719 ;
BP 756, Abomey Calavi. iwikotanj@yahoo.fr

***Centre de Recherches Agricoles du Centre (CRA-Centre) / Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), B.P. 112 Savè, Tél. (229) 97654811

Abstract

PERFORMANCE EVALUATION OF ENDOGENOUS TECHNIQUES OF CHARCOAL PRODUCTION IN REPUBLIC OF BENIN

In order to analyze the performances of two types of charcoal earth mound: the traditional earth mound (MT) and the improved earth mound (MA), evaluation parameters of yield carbonization such as massic yield, conversion rate, commercial yield and carbonization duration, were tested. The improvement of the earth mounds was based on some simple parameters such as: reduced number of air orifices, better log compilation and stacking with respect to certain rules such as rigorous follow up of combustion, control of carbonization by the opening or obscuring the air orifices. For each of the two earth mounds, 13 types of wood loads were built up and a total of 26 loads were considered for this study. Three tree species were used to constitute the loads of the earth mounds: *Isobertinia doka*, *Anogeissus leiocarpa*, *Prosopis africana* were used at the wet or dry state, alone or mixed together. For statistical analysis, each type of wood load is regarded as a treatment with two repetitions and each earth mound constitutes a block. The results of this study show that the average quantities of discharged charcoal are respectively of 229.46 kg for the traditional earth mound and of 407.23 kg for the improved one. This constitutes a variation of 77.46%. The average duration of carbonization varies according to the type of earth

mound, the hygrometrical state and the nature of the tree species. For the improved earth mound, the duration of combustion is 8 days 2 hours whereas that of the traditional earth mound is only 5 days 4 hours. Analysis of variance of the variables of carbonization tested, shows that the difference between the two types of earth mound is highly significant. This implies that that the improvement of some carbonization factors has led to a net increase in the massic yield. This record has never been achieved in Benin Republic.

Key words: *Benin, carbonization, earth mounds, air orifices, massic yield, traditional method.*

Résumé

En vue d'analyser les performances de deux types de meule de charbon : la meule traditionnelle (MT) et la meule améliorée (MA), des paramètres d'évaluation des rendements de la carbonisation tels que le rendement massique, le taux de conversion, le rendement commercial, la durée de la carbonisation, ont été testés. L'amélioration de la meule a porté sur les paramètres simples tels que : nombre d'événements moins important, meilleur empilement des bûches et respect de certaines règles telles que la surveillance rigoureuse de la combustion, le contrôle de la carbonisation par l'ouverture ou l'obturation des événements. Pour chacune des deux meules, 13 types de charges ont été constitués soit un total de 26 charges pour cette étude. Les charges des meules ont été constituées avec des essences telles que *Isoberlinia doka*, *Anogeissus leiocarpa*, *Prosopis africana* carbonisées seules ou en mélange à l'état humide ou sec. Pour les analyses statistiques, chaque type de charge est considéré comme un traitement avec deux répétitions et chaque meule constitue un bloc. Il ressort de cette étude, que les quantités moyennes de charbon défourné sont respectivement de 229,46 kg pour la meule traditionnelle et de 407,23 kg pour la meule améliorée soit un écart de 77,46%. La durée moyenne de carbonisation varie selon le type de meule, l'état hygrométrique de l'essence et la nature de l'essence. Pour la meule améliorée, la durée de combustion est de 8 jours 2 heures alors que celle des meules traditionnelles n'est que de 5 jours 4 heures. Les analyses de variances pour les variables de carbonisation testées, montrent que les

deux types de meules sont hautement significatifs. Il en résulte que l'amélioration de certains facteurs de la carbonisation a conduit à une nette augmentation du rendement massique jamais égalée au Bénin.

Mots clés : Bénin, carbonisation, meules, événements, rendement massique, méthodes traditionnelle.

1. Introduction

L'expansion de l'urbanisation et les changements de mode de vie qu'elle a induits, ont conduit les populations urbaines africaines en général et béninoises en particulier, à délaisser de façon progressive le bois de feu et à choisir le charbon de bois pour la cuisson et le chauffage domestiques (Bertrand, 1991 ; Biaou, 1995). En effet, le charbon de bois passe au Bénin pour le combustible ligneux le plus utilisé dans les milieux urbains. Selon Agbo & Mama (2001), la consommation journalière en charbon de bois est estimée à 0,35 kg/personne en milieu urbain et à 0,15 Kg/personne en milieu rural. Aussi, du fait de l'accroissement de plus en plus important de la demande urbaine en charbon de bois et des revenus substantiels que les producteurs tirent de la carbonisation, on assiste à la généralisation de la fabrication du charbon même dans des régions du pays où cette activité était auparavant peu connue.

Mais la fabrication de charbon de bois est une activité prédatrice des ressources naturelles. Selon Mama & Ogouvide (2005), le procédé de carbonisation recensé dans tout le pays, est artisanal et rudimentaire. Il s'agit d'une carbonisation par combustion partielle dans des meules en terre dont le rendement pondéral de la conversion est de l'ordre de 8 à 10 tonnes de bois pour produire 1 tonne de charbon. Mais, bien que la meule traditionnelle soit archaïque, peu performante et difficile à conduire, elle reste néanmoins une technologie bien adaptée aux conditions locales : faible investissement, mobilité du système, capacité ajustable, pas de débardage, emploi de la main d'œuvre exigeant peu de technicité, etc. (Schenkel et al. 1997; Codjambassis, 1991).

Pour documenter le processus de carbonisation, de nombreux travaux ont montré que les principaux facteurs qui contribuent à l'amélioration du rendement sont entre autres, la densité du bois, la teneur en humidité du bois, le taux de remplissage de la charge en relation avec la taille et la forme du bois et enfin le nombre d'événements (Booth, 1976; Bertrand, 1991; Humphreys & Ironside, 1974 ; FAO, 1986). Girad (1994) distingue 5 ratios pour apprécier les rendements de carbonisation. Il s'agit du rendement massique, du rendement massique pondéré, du rendement technologique, du rendement énergétique et du rendement commercial. Mais, il importe de souligner que ces paramètres sont peu suivis et maîtrisés par tous les producteurs de charbon.

Au Bénin, de nombreuses études ont été réalisées pour documenter la filière bois-énergie. Mais, la plupart de ces études se sont focalisées à décrire la filière, ses acteurs et notamment la problématique de l'approvisionnement en bois-énergie des centres urbains à partir des prélèvements de la zone centrale du Bénin (Mama, 1990 ; Ehemba M. 2009 ; Juhe-Beaulaton , 2000 & Daïnou *et al.* 2008). En dehors des travaux de carbonisation exécutés à l'occasion des projets forestiers des années 1980 qui ont conduit à l'adoption de la meule traditionnelle, très peu d'autres études approfondies sur la carbonisation, ont été réalisées. Les travaux qui rentrent dans ce cadre, ont été réalisés pour la plupart, à l'occasion des études de fin d'études universitaires (Edea, 2002, Dossou, 1992 ; Loko *et al.*, 2002). Mais, les informations que comportent ces essais expérimentaux de carbonisation ne sont pas souvent bien fournies, aussi bien sur les caractéristiques du bois utilisé (dimensions, poids, essences) que sur la quantité de charbon défourné. Il en résulte que l'exploitation de ces travaux sont de portée limitée. Le nombre limité de publications sur la valorisation des travaux sur la carbonisation en est un bon indicateur.

En ces moments où d'importants programmes forestiers et environnementaux se mettent en place pour réduire le coût de la dégradation du couvert végétal à travers la promotion de techniques améliorées de carbonisation, il s'avère nécessaire d'évaluer de façon comparative, les matériels et les techniques utilisées pour la carbonisation.

La présente étude vise à analyser les performances de deux types de meule de charbon : la meule traditionnelle et un autre type de meule traditionnelle mais présentant des améliorations. Il s'agit de tester de nouvelles techniques d'amélioration de carbonisation et d'analyser leurs rendements .

2. Matériels et méthodes

L'étude a été réalisée en trois étapes: sélection des charbonniers et confection des meules et suivi du processus de carbonisation.

2.1 Choix du site et des producteurs de charbon

A la suite d'une étude diagnostique réalisée en 2005 (Mama et Ogouvidé, 2005), la Commune de Ouèssè dans le Département des Collines, a été retenue pour servir de cadre à l'expérimentation. Au niveau de la Commune, 2 villages où vivent de nombreux charbonniers bien expérimentés ont été choisis sur la base des informations disponibles. Par ailleurs, l'obligation de conduire un essai nécessitant un suivi rapproché dans des conditions écologiques similaires, a conforté le choix de ces deux villages distants de moins de 10 km l'un de l'autre.

Deux types de meule à savoir : la meule traditionnelle (MT) et la meule améliorée (MA) ont été testés dans les deux villages. Pour le test, 13 charbonniers réputés comme étant les plus expérimentés ont été sélectionnés par village. Les critères les plus importants qui ont motivé leur sélection sont les suivants:(i) la disponibilité; (ii) la régularité dans la production de charbon; (iii) la quantité moyenne produite ;(iv) le nombre d'années d'expérience et (v) l'âge du producteur supérieur à 35 ans. Au total, 26 charbonniers ont été sélectionnés pour conduire l'étude.

2.2 Confection des meules

La meule dite traditionnelle est constituée de bûches empilées sur le sol et recouvertes d'herbes sèches et de sable (Figure N°4). Le principe de base de la carbonisation en meule est que le bois à carboniser reste enfermé dans un espace clos dont l'étanchéité est assurée par de la terre, matériau disponible partout où l'on trouve du bois. La base de la meule

est faite de deux couches de bois de petite et moyenne dimension. Pour la première couche, les bûches sont disposées régulièrement, radialement autour du centre de la base et pour la deuxième couche, elles sont rangées parallèlement à celles de la première couche. Cette base joue un rôle important, car elle assure la circulation de l'air dans la meule.



Figure 4: Constitution d'une meule traditionnelle

Pour cette étude, toutes les mesures et les précautions ont été prises avec les charbonniers pour que toutes les meules à constituer, soient identiques autant que possible avec les dimensions ci-après : 2 m de long x 1.5m de large et de 1,00 à 1,2 m de profondeur. Ces dimensions qui sont les moyennes obtenues de l'étude sur la typologie des meules réalisées au Bénin, ont été retenues pour toute l'expérimentation (Mama & Ogouvide, 2005). Par ailleurs, toutes les bûches utilisées pour les charges des meules ont été soigneusement pesées à l'avance. De même à la fin, les produits issus de la carbonisation (charbon, incuits et cendres) ont fait aussi l'objet de pesée.

2.3 Dispositif expérimental

Il s'agit de tester les performances des deux types de meules: la meule traditionnelle (MT) et la meule traditionnelle améliorée (MA). Pour chaque type de meule, 13 types de charges ont été constitués (Tableau N°1). Au total, 26 charges ont été constituées pour l'expérimentation. Aussi, chaque type de charge est considéré comme un traitement avec deux répétitions et chaque meule constitue un bloc. Pour constituer les charges des meules, les essences suivantes ont été utilisées : *Isobberlinia doka*, *Anogeissus leiocarpa*, *Prosopis africana* à l'état humide ou sec. Afin de prendre en compte la pratique paysane qui monte des meules avec des mélanges constitués de plusieurs essences d'une part et mieux faire ressortir les effets conjugués de plusieurs essences à carboniser ensemble d'autre part, le mélange des combustibles s'est fait de la manière suivante:

Tableau 1 : Types et charges des meules constituées

Essences utilisées	Etat hygrométrique Composition mélange	Charge ou Poids du bois (kg)	
		Méthode améliorée	Méthode traditionnelle
		Premier Village	Second Village
Isobberlinia	vert	1617,3	1623
Isobberlinia	sec	1129,8	1134
Anogeissus	vert	1803,15	1873,5
Anogeissus	sec	1370	1377,5
Prosopis	vert	1853	1745,8
Prosopis	sec	1789,6	1766
Isobberlinia / Isobberlinia	2 vert /1sec	1454,6	1459,9
Anogeissus/Anogeissus	2 vert/ 1sec	1662	1708,2
Prosopis / Prosopis	2 vert /1sec	1831,87	1752,5
Isobberlinia /Anogeissus	1 vert /1sec	1710,2	1748,25
Anogeissus / Prosopis	1 vert /1sec	1526,7	1809,65
Prosopis/ Isobberlinia	1 vert /1sec	1735,15	1683,57
Prosopis /Isobberlinia /Anogeissus	vert/vert/vert	1757,82	1746,9
Moyenne de la charge des meules (kg)		1633,94	1648,37

- Mélange vert-sec : 2/3 de bois vert et 1/3 de bois sec ou anhydre.
- Mélanges vert-vert : proportion de chaque essence est de moitié.
- Mélange de trois essences : proportion d'un tiers pour chaque essence.

Tous les travaux de carbonisation se sont déroulés pendant les mois de novembre et de décembre qui correspondent à la période de fin de saison des pluies et de début de l'harmattan. Toutes les bûches débitées pour constituer les charges des meules ont été soigneusement pesées à l'aide d'une bascule. Pour la détermination des paramètres dendrométriques, aucune considération n'a été faite du volume du bois. Seul le poids de la bûche a été pris en compte.

2.3.1 *Amélioration des performances des meules*

Pour améliorer les performances des meules traditionnelles, les modifications ci-après y ont été apportées :

- Nombre d'événements réduits de 12 à 4
- Bon empilage des bûches sans interstices
- Suivi constant et rigoureux de la combustion des meules ayant nécessité de passer la nuit sur les chantiers de carbonisation
- Réduction des dimensions des meules (2mx1.5mx1m) ;
- Déshydratation des bûches après abattage une durée allant de 8 à 10 jours au soleil (Figure N°5)



Figure 5 : Empilement des bûches d'une meule améliorée

Les meules traditionnelles ont été confectionnées selon les pratiques usuelles dans la localité : nombre d'évents maintenu entre 10 à 12, empilage des bûches sans aucun soin particulier et surveillance ne nécessitant pas un suivi rigoureux. Il est à noter que les deux éléments majeurs de l'amélioration des performances de la carbonisation ont notamment porté sur la variation du nombre d'évents et le suivi rapproché de la carbonisation.

2.3.2 *Evaluation des rendements à la carbonisation :*

Pour évaluer les performances de la carbonisation, les ratios souvent considérés comme les plus importants portent en général sur le rendement massique, le rendement massique pondéré, le rendement technologique, le rendement commercial, le rendement énergétique (Schenkel, 1997 ; Doat & Petroff, 1975). En raison des limitations technologiques dont dispose l'équipe de l'étude pour mesurer notamment l'état hygrométrique et le pouvoir calorifique des bûches carbonisées, les paramètres suivants ont été utilisés pour caractériser les performances des meules constituées. Il s'agit de:

- Rendement massique : Il permet d'estimer la production en charbon d'un matériel en fonction de la masse du produit à carboniser traitée. Il se calcule de la façon suivante :

Rh_m : Poids Charbon défourné \times 100

Poids du bois humide/sec – Incuits

Compte tenu du fait que le taux d'humidité n'a pas été relevé sur les essences carbonisées à l'état vert, ce rendement massique ne sera déterminé que par rapport au bois à l'état vert.

- Taux de conversion : Il est presque l'inverse du rendement massique. La conversion traduit la quantité de bois utilisée pour obtenir une tonne de charbon. Cette donnée est très importante pour caractériser les performances des meules utilisées. Le taux de conversion se calcule de la façon suivante :

T_c = Poids de bois empilé

Poids de charbon défourné

- Rendement commercial : C'est un ratio qui prend en compte les pertes. Il est fonction des différents paramètres (le savoir-faire des carbonisateurs, la technologie utilisées, la nature du conditionnement retenu, la friabilité du charbon...). Le rendement commercial (R_c) est exprimé en pourcentage

R_c = Poids Charbon – Poids des refus (brisures et brisette) \times 100

Poids de bois

Il est à souligner que tous les produits issus de la carbonisation (charbon de bois, incuit et cendres) ont été soigneusement pesés après le défournement de chaque meule.

2.3.3 Analyse des données

La collecte des données et l'analyse des variances ont été effectuées avec le logiciel Statistix 8.0. Selon le dispositif expérimental, chaque type de meule a été considéré comme un bloc et les charges des meules comme des traitements. L'analyse de variances a porté sur la comparaison des variables suivantes : le temps de carbonisation, la quantité de charbon, les incuits et le rendement. Certaines variables ont été transformées en logarithme naturel afin de les normaliser et faciliter ainsi leur analyse.

Par ailleurs, un certain nombre de contrastes ont été effectués pour comparer les traitements. Ces contrastes ont porté sur la comparaison entre les différents types de charges ayant constitué les meules. Il s'agit de la comparaison entre les charges avec des essences prises isolément, puis des charges avec des essences en mélange comparées avec celles constituées d'essences simples. D'autres comparaisons entre essences à différents états (vert ou sec) ont été aussi réalisées.

Par ailleurs, les rendements massiques (également connus sous les noms rendement pondéral ou rendement sur bois anhydre) et les rendements des différentes meules ont été aussi comparés. Les données traitées ont été ensuite transférées dans le tableur Excel.

3. Résultats

Les résultats issus de cette expérimentation sont présentés dans les tableaux 2 et 4. L'analyse plus fine de ces résultats donne ce qui suit :

Tableau 2: Résultats des performances des 2 types de meules

Variables	Meule améliorée			Meule traditionnelle		
	Moyenne	Ecart type	Intervalle de confiance à 95%	Moyenne	Ecart type	Intervalle de confiance à 95%
Bois	1633,9	212,1	115,3	1648,4	206,1	112,0
Charbon	407,2	105,7	57,5	229,5	45,4	24,7
Incuits	40,2	40,7	22,1	42,8	38,2	20,8
Durée	8,1	1,1	0,6	5,2	0,7	0,4

Tableau 3: Analyse des pouvoirs calorifiques des essences utilisées :

Essence	Etat	Quantité de bois	Quantité charbon	Poids incuits	Conversion	Rendement massique	Rendement commercial	Durée carbonisation
<i>Isobertinia doka</i>	Vert	1617	281	109	5,77	18,59	16,09	9
	Anhydre	1130	332	0	3,41	29,34	27,54	9
	Mél vert	1 664	344	56	4,84		19,43	8
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	Vert	1803	431	40	4,19	21,37 24,42	22,75	9
	Anhydre	1370	334	39	4,10	25,09	22,89	6
	Mélange	1661	387	49	4,29	24,00	22,08	8
<i>Prosopis africana</i>	Vert	1853	558	38	3,32	30,74	29,02	9
	Anhydre	1790	597	0,7	3,00	33,37	32,22	6
	Mélange	1710	438	16	3,91	25,85	24,41	8
	Mélange 3essences	1758	389	16	4,52	22,33	20,97	9

3.1 Les meules

L'analyse des variables utilisées pour l'étude montre que les deux types de meules ont des caractéristiques différentes. En effet, en considérant les variables ci-après : production de charbon, temps de carbonisation et rendement, l'analyse de variance montre qu'il existe une nette différence significative entre la meule améliorée et la meule traditionnelle. Par contre, pour la variable 'incuit', aucune différence entre les deux types de meules n'a été notée.

3.2 Production du charbon

Les quantités de charbon produites montrent une différence bien nette entre les deux types de meules (Tableau N°2). La quantité moyenne de charbon défournée pour la meule traditionnelle est de 229,46 kg avec un écart type évalué à 45,4. Celle de la meule améliorée est de 407,23kg. L'écart-type est de 57,5. Il se dégage une amélioration de 77,46% par rapport à la meule MT.

En considérant tous les traitements (Figure N°1), toutes les valeurs de charbon défourné de la meule traditionnelle sont nettement inférieures à celles de la meule améliorée.

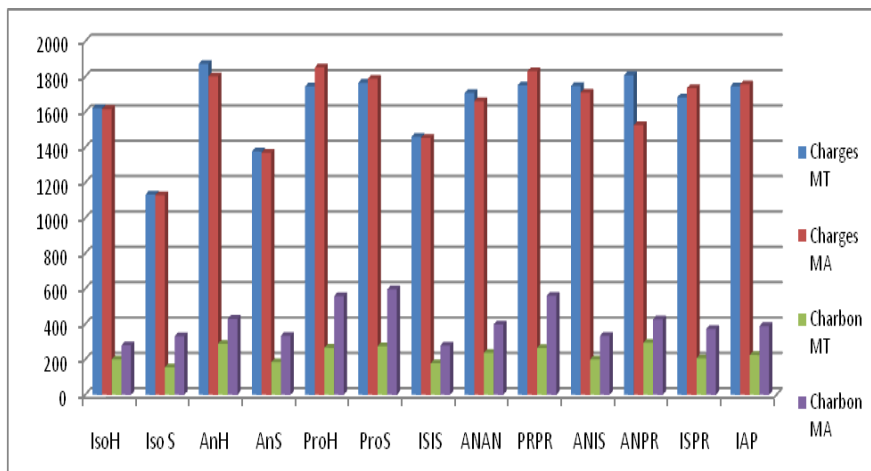


Figure 1: Charges et quantités de charbon des 2 types de meules MT et MA

IsoH : *Isoblerlinia humide* ; *Iso S* : *Isoblerlinia Sec* ; *AnH* : *Anogeissus à l'état Humide*

AnS : *Anogeissus à l'état Sec* ; *ProH* : *Prosopis à l'état Humide* ; *ProS* : *Prosopis à l'état Sec* ; *ISIS* : *Mélange Isoblerlinia Humide-Isoblerlinia Sec* ; *ANAN* : *Mélange Anogeissus sec – Anogeissus Humide* ; *PRPR* : *Mélange ProsopisSec-Prosopis Humide* ; *ANIS* : *Mélange Anogeissus-Isoblerlinia* ; *ANPR* : *Mélange Anogeissus-Prosopis* ; *ISPR* : *Mélange Isoblerlinia-Prosopis* ; *IAP* : *Mélange Isoblerlinia-Anogeissus-Prosopis*

Par ailleurs, en considérant toujours la variable production de charbon, l'analyse de variance montre qu'il existe une différence significative entre les 13 traitements ou charge des meules (Tableau N°6). De même, l'analyse des contrastes dégage une différence significative au niveau des 2 traitements ci-après : *P. africana* contre le mélange *I. doka* et *A. leiocarpa* d'une part et entre *I. doka* et *A. leiocarpa* d'autre part.

Tableau 6: ANOVA pour la variable **Production de charbon (LNCHARB)**

LN SOURCE OF VARIATION DF SUMS OF MEAN F RATIO PROB
ER SQUARES SQUARES LN

LN	SOURCE de VARIATION	DF	SUMS OF SQUARES	MEAN SQUARES	F RATIO	PROB	ER LN
1	MEULES	1	2.05672	2.05672	173.33	0.000	9
2	TRTMNTS	12	1.10483	.920690E-01	7.76	0.001	9
3	T13 vs traitements	1	.423945E-03	.423945E-03	0.04	0.847	9
4	mealnge bois vs bois simple	1	.132315E-02	.132315E-02	0.11	0.742	9
5	melange vert sec vs non melang h	1	.213907E-03	.213907E-03	0.02	0.891	9
6	Prosopis vs (iso ano)	1	.646159	.646159	54.46	0.000	9
7	iso vs ano	1	.215119	.215119	18.13	0.001	9
8	vert vs sec	1	.385136E-01	.385136E-01	3.25	0.094	9
*	LF RESIDUAL	6	.203075	.338458E-01	2.85	0.058	9
*	RESIDUAL	12	.142389	.118658E-01			
*	TOTAL (CORRECTED)	25	3.30394	.132158			

3.3 La durée de la carbonisation

La durée moyenne de carbonisation des meules améliorées est de 9 jours alors que celle des meules traditionnelles est de 6 jours (Tableau N°4). Il en résulte que la durée de la carbonisation dépend de :

- (i) *l'état hygrométrique du combustible* : A l'état vert, la durée de la combustion moyenne pour tous les traitements, est de 8 jours. A l'état sec, elle n'est que de 6 jours.
- (ii) *la nature de l'essence* : *I. doka* et *A. leiocarpa* ont une durée de combustion variant entre 8 et 9 jours. Par contre, la durée de combustion du *P. africana* est 7 à 8 jours. Quand *I.doka* est consommée en mélange avec d'autres essences en proportions égales, la combustion n'est pas homogène. Il en résulte que le suivi de combustion de la meule devient difficile à contrôler.
- (iii) *le type de combinaison ou mélange* de combustibles utilisés seuls ou en mélange pour constituer la charge de la meule. Dans le cas des meules où il y a plusieurs essences en mélange, la combustion va à plusieurs vitesses. Une vigilance du charbonnier est requise pour assurer

un contrôle permanent pendant la combustion. Dans beaucoup de cas, il en résulte une quantité importante d'incuits et de refus de charbon.

L'analyse des variances montre que pour la variable temps de carbonisation, une différence hautement significative a été observée entre les deux types de meules (Tableau N°5).

Tableau 5: ANOVA pour la variable Temps de carbonisation

LN SOURCE de VARIATION DF SUMS OF MEAN F RATIO PROB
ER SQUARES SQUARES LN

LN	SOURCE de VARIATION	DF	SUMS OF SQUARES	MEAN SQUARES	F RATIO	PROB	ER LN
1	MEULES	1	55.5385	55.5385	63.71	0.000	9
2	TRTMNTS	12	10.1538	846154	0.97	0.520	9
3	T13 vs traitements	1	.362530	.362530	0.42	0.537	9
4	mealnge bois vs bois simple	1	1.38889	1.38889	1.59	0.229	9
5	melange vert sec vs non melang h	1	1.36111	1.36111	1.56	0.234	9
6	Prosopis vs (iso ano)	1	1.36111	1.36111	1.56	0.234	9
7	iso vs ano	1	.750000	.750000	0.86	0.375	9
8	vert vs sec	1	4.08333	4.08333	4.68	0.049	9
*	LF RESIDUAL	6	.846872	.141145	0.16	0.981	9
*	RESIDUAL	12	10.4615	.871794			
*	TOTAL (CORRECTED)	25	76.1538	3.04615			

3.4 La nature de l'espèce ligneuse utilisée et la conversion

De l'analyse des résultats de la carbonisation (Tableau 3), il apparaît que le taux de conversion varie selon la nature des essences utilisées et de leur état hygrométrique. Le taux moyen de conversion pour l'ensemble des traitements, est de 7,18 pour la meule traditionnelle et de 4,01 pour la meule améliorée. Le taux de conversion le plus faible a été obtenu sur *P. africana* à l'état anhydre avec TC=3. Par contre le taux de conversion le plus élevé a été obtenu avec *I. doka* à l'état humide avec TC=5.4.

Tableau 3 : Performance calorique des 2 types de meules

Désignation	Méthode Traditionnelle	Méthode Améliorée	Ecart type
Rendement massique moyen	14,30 %	25,57 %	7,97
Rendement Commercial moyen	12,95 %	23,69 %	7,59
Taux de Conversion	7,18	4,01	2,24

Quand les essences sont carbonisées en mélange, leurs taux de conversion sont souvent élevés. Le taux de conversion du mélange des 3 essences à l'état vert est de 4,52. Les mélanges d'une même essence à l'état humide et anhydre donnent des valeurs similaires : *I. doka* mélange (vert-sec) : Tc=4,84 ; *A. leiocarpa* : Tc=4,29. Par ailleurs, il a été relevé que le taux de conversion de *P. africana* est nettement plus élevé quand il est en mélange (vert-sec) avec TC=3,91 que quand il est carbonisé à l'état vert (Tc=3,32) ou à l'état anhydre (Tc=3,00).

Pour illustrer la conversion en d'autres termes, il faut 3 tonnes de *P. africana* à l'état anhydre pour produire une tonne de charbon. De même, 5,4 tonnes de *I.doka* sont nécessaires pour produire une tonne de charbon. En conséquence, pour produire une tonne de charbon, les quantités des charges des meules varient selon les essences utilisées et leur état hygrométrique.

L'analyse de variance montre qu'il n'existe aucune différence significative ni entre les mélanges d'essences, ni entre les essences prises isolément. En effet, la comparaison des contrastes entre le mélange de bois sec et vert, avec les bois sec ou vert pris isolément ne montre aucune différence significative. Toutefois, le type d'essences a un effet sur le poids charbon. Par contre, la différence entre *P. africana* et les deux autres essences *I. doka* et *A. leiocarpa*, est hautement significative. De même, la différence entre *I. doka* et *A. leiocarpa* est aussi hautement significative. Mais les autres contrastes ne montrent aucun effet significatif au seuil de 5%.

3.5 Le rendement

En considérant la variable rendement, les performances de la meule améliorées sont nettement supérieures à celles de la meule traditionnelle (Figure N°2). Par ailleurs, selon le Tableau N°3, le rendement massique moyen est de 25,57% pour la meule améliorée et de 14,30% pour la meule traditionnelle. Le rendement commercial est 23,69% pour la meule améliorée et de 12,95 % pour la meule traditionnelle.

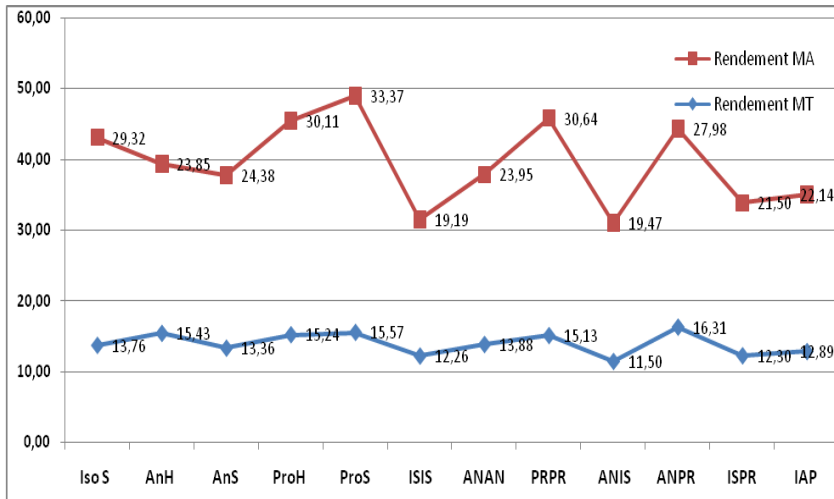


Figure 2: Rendements des 2 types de meules MT et MA.

IsoH : *Isoberlinia humide* ; *Iso S* : *Isoberlinia Sec* ; *AnH* : *Anogeissus à l'état Humide*

AnS : *Anogeissus à l'état Sec* ; *ProH* : *Prosopis à l'état Humide* ; *ProS* : *Prosopis à l'état Sec* ; *ISIS* : *Mélange Isoberlinia Humide-Isoberlinia Sec* ; *ANAN* : *Mélange Anogeissus sec – Anogeissus Humide* ; *PRPR* : *Mélange ProsopisSec-Prosopis Humide* ; *ANIS* : *Mélange Anogeissus-Isoberlinia* ; *ANPR* : *Mélange Anogeissus-Prosopis* ; *ISPR* : *Mélange Isoberlinia-Prosopis* ; *IAP* : *Mélange Isoberlinia-Anogeissus-Prosopis*

L'analyse selon les essences montre que le rendement varie d'une essence à une autre. A l'état vert, le rendement massique moyen de *I. doka* est de 18,6%. Celui de *A. leiocarpa* est de 24,4%. Le rendement massique le plus élevé (30,7%) a été obtenu avec *P. africana* à l'état vert. De façon générale, le rendement varie selon l'essence utilisée et son état hygrométrique. Les meilleurs rendements ont été obtenus avec *Prosopis* à l'état anhydre avec 33,4%. A l'état humide, il est de 30,4%. Le mélange des essences donne des rendements presque similaires (21,37% pour le mélange à dominance *I. doka*, 24,00% pour le mélange à dominance *A. leiocarpa* et 24,41% pour le *P. africana*). Il est toutefois utile de souligner que le mélange des trois essences donne un rendement massique de 20,97% qui est légèrement en dessous des valeurs des mélanges avec au moins une essence.

Les rendements commerciaux sont du même ordre de grandeur que les rendements massiques. La valeur de rendement commercial la plus faible de 16%, est obtenue avec *I. doka* à l'état humide. La valeur la plus élevée (32,22%) est obtenue avec *P. africana* à l'état sec.

L'analyse de variance montre que le rendement présente une différence hautement significative au niveau des 2 types de meules et des traitements. Il a été noté aussi une différence hautement significative au niveau de la comparaison des charges constituées de *Prosopis* et celles constituées de mélange *I. doka* et *A. leiocarpa*.

3.6 Les incuits

Ce sont les résidus de la carbonisation du bois qui n'ont pas été transformés entièrement en charbon. Leur quantité dépend en grande partie de la qualité de la carbonisation. La quantité moyenne des incuits est de 40, 2kg pour la meule améliorée et de 42,84kg pour la meule traditionnelle (Tableau N°4). Pour certaines essences, cette quantité d'incuits est faible sinon nulle quand elles sont carbonisées à l'état sec. Il en résulte une évidence qu'à l'état anhydre, le bois se consume plus facilement qu'à l'état humide.

Par ailleurs, en considérant toutes les 26 charges pour les deux types de meule, la quantité moyenne des incuits la plus importante dans le cadre de meule améliorée totalise 2,42% et celle de la meule avec la méthode traditionnelle est de 2,72% du poids de bois de la meule. Il est à noter que *I. doka* en mélange ou seule à l'état vert, présente les quantités les plus importantes d'incuits. La nature hygrophile de cette essence rend longue la durée de sa conversion en charbon et en conséquence, une plus grande quantité d'incuits.

Il se dégage de l'étude que la quantité d'incuits ne dépend pas du type de meule utilisée (Figure N°3). La valeur la plus forte (136 kg) est observée au niveau de la meule traditionnelle avec une charge d'un mélange de *I. doka*. Par contre, la plus forte quantité d'incuits (138kg) a été obtenue avec une charge d'un mélange de *I. doka* et de *A. leiocarpa*. Par contre, avec la méthode améliorée, les valeurs nulles ont été obtenues avec les charges de *I. doka* et de *P. africana* à l'état anhydre. A l'opposé, aucune valeur n'a été obtenue avec la meule traditionnelle. Ses valeurs les plus faibles (1kg) et (7kg) ont été respectivement obtenues avec les charges de *A. leiocarpa* à l'état humique et le mélange *I. doka* – *A. leiocarpa*.

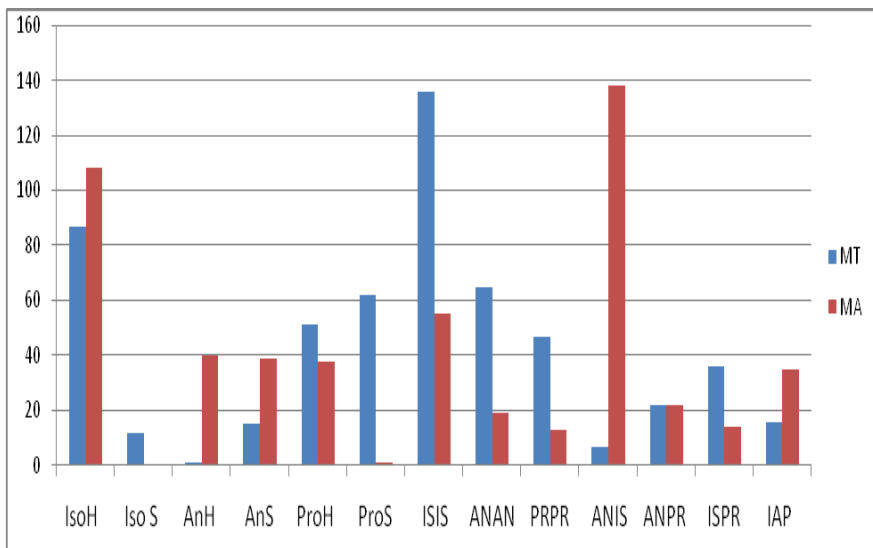


Figure 3 : Relation entre les quantités d’incuits résultant des 2 types de meules

IsoH : Isoberlinia humide ; Iso S : Isoberlinia Sec ; AnH : Anogeissus à l’état Humide

AnS : Anogeissus à l’état Sec ; ProH : Prosopis à l’état Humide ; ProS : Prosopis à l’état Sec ; ISIS : Mélange Isoberlinia Humide-Isoberlinia Sec ; ANAN : Mélange Anogeissus sec – Anogeissus Humide ; PRPR : Mélange ProsopisSec-Prosopis Humide ; ANIS : Mélange Anogeissus-Isoberlinia ; ANPR : Mélange Anogeissus-Prosopis ; ISPR : Mélange Isoberlinia-Prosopis ; IAP : Mélange Isoberlinia-Anogeissus-Prosopis

L’analyse de variance avec cette variable ne présente aucune différence ni pour les types de meules, ni pour les charges de bois ou traitement (Tableau 8).

Tableau 8: ANOVA pour la variable Poids incuit

LN SOURCE OF VARIATION DF SUMS OF MEAN F RATIO
 PROB ER SQUARES SQUARES LN

LN	SOURCE de VARIATION	DF	SUMS OF SQUARES	MEAN SQUARES	F RATIO	PROB	ER LN
1	MEULE\$	1	44.9861	44.9861	0.03	0.856	9
2	TRTMNT\$	12	20199.0	1683.25	1.18	0.392	9
3	T13 vs traitements	1	545.669	545.669	0.38	0.555	9
4	mealnge bois vs bois simple	1	69.2272	69.2272	0.05	0.824	9
5	melange vert sec vs non melang h	1	1294.80	1294.80	0.90	0.363	9
6	Prosopis vs (iso ano)	1	658.778	658.778	0.46	0.517	9
7	iso vs ano	1	4018.68	4018.68	2.81	0.117	9
8	vert vs sec	1	3224.24	3224.24	2.25	0.156	9
*	LF RESIDUAL	6	10387.6	1731.27	1.21	0.366	9
*	RESIDUAL	12	17182.5	1431.88			
*	TOTAL (CORRECTED)	25	37426.5	1497.06			

Tableau 7: ANOVA pour la variable Rendement (LNYIELD)

LN SOURCE OF VARIATION DF SUMS OF MEAN F RATIO
 PROB ER SQUARES SQUARES LN

LN	SOURCE de VARIATION	DF	SUMS OF SQUARES	MEAN SQUARES	F RATIO	PROB	ER LN
1	MEULE\$	1	2.11102	2.11102	260.18	0.000	9
2	TRTMNT\$	12	.552966	.460805E-01	5.68	0.003	9
3	T13 vs traitements	1	.104488E-01	.104488E-01	1.29	0.279	9
4	mealnge bois vs bois simple	1	.303865E-01	.303865E-01	3.75	0.074	9
5	melange vert sec vs non melang h	1	.124852E-01	.124852E-01	1.54	0.237	9
6	Prosopis vs (iso ano)	1	.206661	.206661	25.47	0.000	9
7	iso vs ano	1	.355116E-01	.355116E-01	4.38	0.056	9
8	vert vs sec	1	.345671E-01	.345671E-01	4.26	0.059	9
*	LF RESIDUAL	6	.222906	.371510E-01	4.58	0.012	9
*	RESIDUAL	12	.973633E-01	.811361E-02			
*	TOTAL (CORRECTED)	25	25.276135	.110454			

4. Discussion

Le nom générique de meule traditionnelle a été attribuée à ce type de procédé de carbonisation compte tenu des rendements de carbonisation les bas qui lui sont attribués. La faible performance de ces meules résulte comme l'ont confirmée les travaux de Humphreys & Ironside (1974) et ceux de Gerard (1992), non seulement d'une insuffisance de savoir-faire mais aussi et surtout d'un «mauvais compromis» accepté par le charbonnier à la suite de diverses contraintes sociales qui pèsent sur lui. Ces contraintes sont entre autres: surveillance longue et fastidieuse des meules, pratique coutumière, abondance de ressources ligneuses, ignorance du manque à gagner.

L'amélioration de certaines pratiques et le renforcement du suivi des meules ont notamment permis dans le cadre de cette expérimentation d'accroître le rendement massique moyen de 14,3% à 25,57%. Ces résultats, bien qu'étant légèrement en dessous des rendements de la meule casamançaise (25 à 30%) est une prouesse non encore égalisée au Bénin où les rendements souvent enregistrés sont de l'ordre de 12 à 15% (Booth, 1979 ; Edea, 2002 ; Mama, 2003).

Toutefois, il convient de souligner que les rendements obtenus au cours de cette expérimentation avec la meule améliorée, sont presque sssemblables à ceux des meules traditionnelles testées par Sanogo & Kouyate (2002) pendant la formation des charbonniers au Mali et qui varient de 22 à 32%. Mais les meules avec lesquelles ces performances ont été obtenues, étaient des meules semi enterrées avec des charges de combustibles légèrement inférieures à celles de notre expérimentation. Comme le confirme FAO (1986), la moyenne acceptable est de 1 tonne de charbon pour 6 t de bois. Cependant ce taux varie d'un pays à un autre. En Côte d'ivoire, il est de 1 tonne de charbon pour 8.9 tonnes de bois. Au Mali, il faut 7 tonnes environ pour produire 1 tonne de charbon(Eimer & Ndamana, 1987 ; Codjambassis, 1991).

L'importance des quantités d'incuits observées de la meule améliorée expérimentée montre que cette dernière présente des insuffisances. Cette situation est confirmée par l'analyse des variances qui a montré qu'en

considérant cette variable, il n'existe aucune différence non seulement entre les deux types meules mais aussi, entre les 13 différents traitements. Aussi, en prenant en compte les assertions de Matly (2000) et de Goyal *et al.* (2008) qui stipulent que la qualité d'une meule à carboniser est intimement liée à la quantité d'incuits obtenus, il s'avère nécessaire d'analyser plus profondément les insuffisances de la méthode améliorée.

L'une des insuffisances relevées, porte sur l'empilement des bûches. En effet, les bûches utilisées pour constituer les charges de la meule n'ont pas été calibrées. Elles sont empilées sur d'autres de grosseur moyenne. La base de la meule est faite de deux couches de bois de petite et moyenne dimension. La différence dans la grosseur des bûches explique le temps variable de combustion de chaque buche et les quantités d'incuits pour chaque charge de bois. L'expérience de Mundhenk *et al.*, (2010) utilisée pour comparer la meule Casamançaise à une meule de type traditionnelle modifiée, est édifiante. En effet, ils ont calibré les tiges de bois d'*Acacia seyal* à carboniser en trois catégories (petite, moyenne et grosse). Les résultats auxquels ils sont parvenus, montrent que selon les catégories de tige, des variations ont observées dans la durée et le rendement de la carbonisation. Aussi, un meilleur empilement des bûches selon leur circonférence, aurait permis d'améliorer le rendement de la carbonisation.

De manière générale, les rendements massiques en charbon varient selon l'habileté de l'opérateur, la siccité du bois et l'étanchéité à l'air de la meule (Gerard, 2002). Aussi, il se dégage que le rendement de la meule est en relation avec les différents facteurs physiques dont les plus importants sont les suivants : densité du bois élevée, faible teneur en humidité du bois, bon coefficient d'empilement de la charge et bon contrôle de la combustion. Mais dans la pratique, il est rare que toutes ces conditions puissent être toutes réunies à la fois. Aussi, les variations des rendements constatées avec certaines charges de meules, expliquent en grande partie cette situation.

Par ailleurs, il est à craindre que la surveillance trop rigoureuse et importante qu'exige la meule améliorée puisse constituer une des

st
pas disposé à assurer une surveillance de nuit ne pourra jamais adopter ce type de meule car il est conscient des risques d'effondrements nocturnes consécutifs à une carbonisation très vive. Toutefois, cet inconvénient peut être un avantage si le charbonnier a compris la nécessité de la surveillance de nuit et intègre la réduction du temps passé près de sa meule pour un même volume de bois.

Selon Schenkel (1997), la plupart des techniques de carbonisation traditionnelles ou traditionnelles améliorées donnent de bons rendements pour un investissement relativement faible, si elles sont bien utilisées. Mais l'expérience prouve qu'elles sont souvent trop contraignantes pour beaucoup de charbonniers. Très peu d'entre eux par exemple, sont disponibles à assurer un suivi rigoureux de la combustion des meules pendant la nuit. Il s'en suit que bon nombre de projets portant sur le charbon de bois qui n'ont considéré que la promotion et l'amélioration de l'aspect énergétique du procédé technique sans y intégrer la dimension sociale et économique, ont rarement donné les résultats escomptés (Eimer & Ndamana, 1987; Ehemba, 2009). Aussi, il importe que le choix de la technologie soit toujours déterminé par une analyse du contexte socioéconomique et qu'il intègre la dimension sociale et économique.

5. Conclusion

L'amélioration de certains paramètres simples (nombre d'événements, empilement des bûches et respect de certaines règles telles que la surveillance rigoureuse de la combustion, le contrôle de carbonisation par l'ouverture ou l'obturation des événements) de la carbonisation, ont été les principaux éléments qui ont conduit à une nette augmentation du rendement massique au Bénin, qui est passé de 14,3% à 25,57%. Pour la meule améliorée, certaines charges de meules ont produit des rendements massiques de l'ordre de 33,37%. Par ailleurs, le ratio de conversion a été réduit de 7,18 pour la meule traditionnelle à 4,01 pour la meule améliorée. Avec cette performance, il faudra désormais 4,01 tonnes de bois pour produire une tonne de charbon alors que la méthode traditionnelle en exige 7,18 tonnes. Il se dégage de cette expérimentation que la quantité de charbon produite est en relation avec un certain

nombre de facteurs physiques dont les plus importants sont les suivants : densité du bois élevée (cas du *Prosopis*), faible teneur en humidité du bois, bon coefficient de remplissage de la charge et bon contrôle de la combustion. Aussi, l'amélioration de la productivité des meules traditionnelles passe par le respect des éléments précités.

Mais la meule traditionnelle est une technique qui s'est réellement bien adaptée au contexte socio-économique des pays en développement en général et du Bénin en particulier. Il n'existe en effet, aucune région du Bénin où cette technique de carbonisation n'est aujourd'hui pratiquée. Par ailleurs, le charbonnier est une composante incontournable de l'activité économique et environnementale du pays, il lui faudra faire la part des choses afin de tirer le meilleur avantage de la technologie qu'il estime adapter à son environnement de travail et ce, à travers la sélection de la meilleure option possible et la prise en considération des critères techniques et sociologiques. A cet effet, la sensibilisation et la formation des acteurs de carbonisation s'imposent pour la mise à leur disposition du choix technique adéquat.

6. Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre des fonds compétitifs de l'INRAB. L'équipe remercie l'INRAB pour cet appui. Nos remerciements vont à l'endroit du Dr Abdouhramane Issoufou Kollo qui a appuyé l'équipe dans les analyses statistiques.

7. Références

Agbo J. & Mama V. J. 2001. Synthèse et analyse des données sur le bois-énergie en République du Bénin. Rapport Projet GCP/INT/679/EC 115p.

Bertrand D. 1991. Pénurie de bois et passage de l'autoconsommation à la commercialisation rurale et urbaine du bois de feu dans les départements de l'Atlantique au Bénin. Sciences et techniques pour le développement /CIRAD/CTFT FSA/UNB. 45p

Biaou C. F. 1995. Analyse économique des possibilités de production du bois de feu dans le système cultural paysan du sud Bénin. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences Economiques et de Gestion. Université Nationale de Côte d'Ivoire. 218p.

Booth H.E. 1979. 'Charcoal in the energy crisis of the developing world'. FAO' Forestry Department'. Rome, 124p.

Dossou B. 1992 : Problématique et politique du bois-énergie au Bénin. Thèse de Doctorat Ph.D Université de Laval, Québec

Codjambassis G. 1991. 'Méthode de production de charbon de bois'. FAO. Compte Rendu GHA/74/013. Ghana.135p.

Daïnou K. ; Vermeulen C. & Doucet J-L. 2008. Consommation de bois dans les zones humides du complexe ouest du Bénin: besoins et gestion locale des formations ligneuses. *Bois et Forêts des Tropiques*, 298 (4) : 13-27.

Doat J. & Petroff G. 1975. La carbonisation des bois tropicaux : Essais de laboratoire et perspectives industrielles. *Bois et Forêts des Tropiques* 159, 55- 73.

Edea E. 2002. La production du charbon de bois et son impact sur le milieu dans le secteur Savè – Ouèssè – Tchaourou. Mémoire de maîtrise FLASH/UAC/Bénin. 62p.

Ehemba M. 2009. Le biocharbon, quelles strategies choisir ? Dossier Le Biocharbon, pp. 3-6.

Eimer P. & Ndamana C. 1987. Carbonisation : les ratios de transformation, République du Burundi, Ministère de l'Agriculture, Département des Eaux et Forêts, pp.1-36.

FAO 1983. Techniques simples de carbonisation. Étude FAO: Forêts 41. Sous-Division des produits de l'industrie mécanique du bois. Division des industries forestières. Département des forêts. Organisation des

Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture M-37 - ISBN 92-5-201328-8.

Gerard P. 1992. Techniques et matériels de carbonisation: contrôle de performance. *Bois et Forêts des Tropiques* , 232, 53-65.

Gerard P. 2002. Quel futur pour la production et l'utilisation du charbon de bois en Afrique? *Unasylva* 211, 53, 30-34

Goyal G. Seal D. & Saxena R., 2008. Bio-fuel from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **12**(2): 504-517.

Juhe-Beaulaton D. 2000. Bois de chauffe et charbon de bois dans le Sud du Bénin : évolution de la production au cours du XXe siècle. Cahier d'études n°10, Forêt, environnement et société, CNRS : 30-38.

Humphreys F.R. & Ironside G. 1974. Charcoal from New South Wales species of timber'. Forestry Commission of N.S.W. Technical Paper 2. 104pp.

Loko B., Agbo B. & Matthes, A. 2002. Synthèse bibliographique sur le développement du secteur forestier au Bénin, In "Recherche agricole pour le développement, Actes de l'Atelier Scientifique Centre 1", pp 246-266

Mama V. J. 2003. Analyse de la durabilité de l'approvisionnement en bois-énergie des centres urbains à partir des prélèvements de la zone centrale du Bénin. INRAB, Communication à l'Atelier Scientifique Centre 2ème édition. 13p.

Mama V. J. & Ogouvide F. 2005. Typologie et analyse technico-financière de la production du charbon de bois dans la région centre et sud du Bénin. Rapport de d'etude. INRAB Protocole N°45. 26 p.

Matly, M. 2000. La mort annoncée du bois énergie à usages domestiques. *Bois et Forêts des Tropiques*, 266(4): 43-55.

Mundhenk P. ; Gomis O. & SY M.C. 2010. Comparaison des rendements de production de charbon de bois entre la meule traditionnelle et la meule Casamance dans la forêt communautaire de Sambandé. Programme pour la promotion de l'électrification rurale et de l'approvisionnement durable en combustibles domestiques. GTZ Sénégal 19p

Sanogo C. A. & Kouyate M. 2002. Atelier régional de capitalisation de l'expérience sahélienne en matière de carbonisation améliorée & agglomération, Cas du Mali. Atelier capitalisation de l'expérience sahélienne en carbonisation- Cilss/Predas. 33p.

Schenkel Y. ; Bertaux P. ; Vanwijnsberghe S & CARRE J. 1997. Une évaluation de la technique de la carbonization en meule. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 1997 1 (2), 113-124.

EVALUATION DE L'EFFICACITE DE L'ASSOCIATION DES CEREALES ET DU NIEBE COMME PLANTE FAUX-HOTE DU *STRIGA HERMONTICA* (DEL.) BENTH ET LEURS RENDEMENTS SUBSEQUENTS

G. Lawane^{*}, S.P. Sougnabé^{**}, V. Lenzemo^{***}, F. Gnokreo^{*}, N.
Djimasbeye^{*}, G. Ndoutamia^{****}

^{*}Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université de N'Djaména (Tchad) BP1027

^{**}ITRAD, N'Djaména (Tchad)

^{***}IRAD, Maroua (Cameroun)

^{****}LRVZ, N'Djaména (Tchad)

Résumé

Les cultures faux-hôtes du striga et la limitation de la dissémination des graines de striga constituent les principales préoccupations de la recherche ces dernières années. La rotation et l'association des cultures céréalières avec des cultures faux-hôtes du striga diminuent dans une forte proportion le stock des graines de *Striga hermonthica* dans le sol, améliore la fertilité du sol, donc augmente leur rendement. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité des cultures faux-hôtes du striga en association avec le mil et sorgho sur l'émergence du *S. hermonthica*. Deux variétés de sorgho (S-35 tolérante au striga et la variété locale Samboul sensible au striga), deux de mil (variété améliorée GB8734, tolérante au striga et la variété locale Moro, sensible au striga), deux de niébé (TN5-78, précoce (75 jours) et IT81D-994, tardive (90 jours) ont été testées. Le dispositif expérimental utilisé est celui de blocs de Fisher avec parcelles divisées et subdivisées qui est le Split-plot à quatre (4) répétitions avec les variétés de sorgho et de mil (tolérantes et sensibles) comme facteurs secondaire et les variétés de niébé (efficace et moins efficace) comme facteurs principaux. Les rendements des cultures associées ont été estimés selon le coefficient d'équivalence en surface et le ratio de densité. Les données ont été analysées grâce au logiciel XLStat Pro. 6.1.9.2007. Les densités de striga de la 6^e à la 12^e Semaine après semis sont élevées sur les variétés locales de mil (Moro) et de sorgho (Samboul) et varient de 1,36 à 7,30 plants/0,25 m² et de 1,21 à 6,47 plants/0,25 m² et 1,57 à 5,23 plants/0,25 m², respectivement en cultures associées. La sévérité d'attaque de striga sur la variété locale,

Moro est très élevée en culture pure (92,6%) aussi bien qu'en associée (82,4%). Les sévérités d'attaque de striga sur le mil et le sorgho ne présentent aucune différence significative ($P=0,01$). Les poids grains de la variété améliorée de mil GB8734 sont supérieurs (319,39 et 580,21 kg/ha) à ceux de la variété locale dans les 2 systèmes de culture. Ceux de la variété de sorgho S-35 sont plus élevés (648,45 kg/ha) en cultures associées par rapport à ceux de la variété locale (509,08 kg/ha). Les coefficients d'équivalence en surface (CES), le ratio de densité (RD) et le coefficient de valorisation de culture (CVC) des cultures du sorgho et du mil en association sont supérieurs à 1,00. L'étude nous a permis de montrer que l'association sorgho et mil avec une culture améliorante, et faux hôte du striga, tel que le niébé donne des meilleurs rendements que les cultures pures. Le niébé provoque significativement la germination suicidaire des graines du striga dans le sol et améliore la jachère.

Mots clés: association, systèmes de culture, cultures faux-hôtes du striga, biomasses, sorgho, mil, niébé.

Abstract

The trap-crop of striga and the limitation of the dissemination of the seeds of striga constitute the main preoccupations of research these last years. The rotation and the association of cereal plants with false-hosts plants of the striga decrease in a strong proportion the stock of the seeds of *Striga hermonthica* in soil, improve the fertility of soil, increase their output therefore. The objective of this survey is to value the efficiency of the trap crop plants of striga in association with the pearl millet and sorghum on the emergence of *S. hermonthica*. Two varieties of sorghum (tolerant S-35 to the striga and the variety local Samboul sensitive to the striga), of pearl millet (variety improved GB8734, tolerant to the striga and the local variety Moro, sensitive to the striga), of precocious variety of cowpea TN5-78, (75 days) and late variety of cowpea IT81D-994, (90 days) have been tested. The used experimental device is the one of blocks of Fisher with divided and subdivided plots which is the Split-plot with four (4) repetitions with the varieties of sorghum and pearl millet (tolerant and sensitive) as secondary factors and the varieties of cowpea (efficient and inefficient) as main factors. The yields of cultivars

associated have been estimated according to the Land Equivalent Ratio (LER) (LER) and the ratio of density. The data have been analyzed thanks to the software XLStat Pro. 6.1.9. 2007. The striga density from the 6th to the 12th week after seeding are raised on the local varieties of pearl millet (Moro) and of sorghum (Samboul) and vary 1.36 to 7.30 plants/0.25 m², and 1.21 to 6.48 plants/0.25 m² and 1.58 to 5.23 plants/0.25 m², respectively in associated cultures. The severities of attack of striga on the local variety, Moro are higher when alone (92.6%) than when associated (82.4%). The severities of attack of striga on the pearl millet and sorghum are not statistically different (P=0.01). The weights grains of the improved variety of pearl millet GB8734 are superior (319.39 and 580.21 kg/ha) to those of the local variety in the 2 cropping systems. On the other hand sorghum yield is higher, when associated, for the S-35 variety (648.45 kg/ha) than for the local one (509.08 kg/ha). The coefficients of equivalence in surface (CES), the ratio of density (RD) and the coefficient of culture valorization (CVC) plants of sorghum and the pearl millet in association are higher than 1.00. Therefore, the associated plants are more profitable than the pure plants. The survey permitted us to show that association sorghum or pearl millet with cowpea, culture improving and plants trap-crop of the striga as the cowpea, gives the best outputs than the pure plants. The cowpea induces suicidal germination of striga seeds and improves the lying fallow.

Key words: Association, cropping system, plants false-hosts of striga, biomasses, sorghum, cowpea and pearl millet.

Introduction

Le sorgho et le mil sont les principales cultures vivrières de la zone sahélienne et soudanienne du Tchad. Ces cultures occupent une importance grandissante dans l'alimentation de la population tchadienne. Les rendements de ces cultures en milieu paysan de 643 kg/ha pour le sorgho et de 453 kg/ha pour le mil sont très bas (Division de la statistique agricole, 2006). Leur développement est soumis à de nombreuses contraintes abiotiques (climatique, baisse de fertilité), socio-économiques et biotiques (insectes, maladies et adventices). Parmi les

ennemis du sorgho et du mil, *Striga hermonthica* est une plante qui parasite leurs racines, leur causant aussi des pertes qui peuvent aller jusqu'à 100% du rendement grain. Depuis longtemps, des moyens de lutte efficaces contre les striga tels que herbicides et engrais existent, mais ceux-ci demandent des moyens technologiques et financiers très coûteux que le paysan africain n'est pas en mesure de supporter (Sallé et Rayal-Roques, 1989; Lagoke et al., 1991). Les cultures faux- hôtes (qui provoquent la germination des graines de striga dans le sol sans que ces dernières soient parasitées) et la limitation de la dissémination des graines de striga constituent les principales préoccupations des chercheurs travaillant sur ce parasite. La rotation des cultures céréalières (sorgho, maïs et mil) avec des cultures faux-hôtes diminue dans une forte proportion le stock des graines de *S. hermonthica* dans le sol, donc réduit le parasitisme par conséquent augmente le rendement de ces céréales (Sallé et Rayal-Rokes, 1989 ; Dembélé et al. 1994). Au niveau paysan, l'utilisation des cultures pièges adaptées, présente un grand intérêt du fait de leur faible coût. De plus, les plantes pièges, qui sont pour la plus part des légumineuses, ont un effet bénéfique sur la fertilité des sols. La conception d'une solution réaliste et durable pour les producteurs face au problème du striga nécessite une approche multidisciplinaire qui intègre toutes les méthodes de lutte agronomiques, mesures visant à réduire le stock de graines du striga dans le sol et à limiter l'augmentation de l'infestation. Il faut rappeler que les graines de striga peuvent rester viables dans le sol plusieurs années (plus de 10 ans) La rotation des céréales avec les cultures faux hôtes ont montré leur efficacité (Berner et Kling, 2001). Les recherches sur les plantes faux-hôtes du striga n'ont jamais tenu compte des systèmes de culture existants pratiqués par les producteurs et moins encore de leur variabilité intra spécifiques. En plus, l'efficacité de ces faux-hôtes doivent aussi varier en fonction des conditions physico- chimiques du sol (pH et taux de la matière organique). Cette étude se fixe comme objectif d'évaluer l'efficacité des cultures faux-hôtes associées aux céréales sur la germination des graines de striga et de faire des propositions de lutte intégrée à moindre coût et appropriables par les paysans du Tchad.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Deux variétés de sorgho sont utilisées : la variété améliorée S-35 dite tolérante au striga et la variété locale Samboul sensible au striga. Deux variétés de mil sont également utilisées : la variété améliorée GB 8734, tolérante au striga et la variété locale Moro, sensible au striga. Deux variétés de niébé améliorées sont utilisées comme cultures faux hôtes en association avec le sorgho et le mil : il s'agit de la variété de niébé TN5-78, précoce avec une bonne nodulation et une bonne stimulation des graines de striga et la variété de niébé IT 81 D- 994, tardive avec une bonne nodulation et résistante au *S. gesnerioïdes*, espèce de striga qu'on ne rencontre que dans les champs de niébé.

Méthode

Le dispositif expérimental utilisé est celui de blocs de Fisher avec parcelles divisées et subdivisées qui est le Split plot à quatre (4) répétitions avec les variétés de sorgho et de mil (tolérantes et sensibles) et de niébé (TN5-78 et IT 81 D-994). Dans la culture en association, l'arrangement spatial est alternatif (une ligne de sorgho ou mil et une ligne de niébé). Les écartements pratiqués dans les différents systèmes de cultures sont les suivants :

- Sorgho, en pur 0,8 m x 0,6 m et en associé 1,0 m x 1,0 m;
- Niébé, en pur 0,8 m x 0,5 m et en associé avec le sorgho 1,0 m x 0,5 m;
- Mil, en pur 1,0 m x 1,0 m et en associé 1,20 m x 1,0 m;
- Niébé, en pur 0,8 m x 0,4 m et en associé avec le mil 1,20 m x 0,5 m.

Les écartements ont varié mais les effets n'ont pas été recherchés, car cette variation étant minime. Les facteurs principaux sont les cultures faux-hôtes du striga efficaces et non efficaces sur la germination suicidaire des graines de striga et les variétés de sorgho et mil tolérantes ou sensibles au striga sont les sous parcelles secondaires. Les semences de sorgho, de mil et de niébé ont été enrobées au caïman rouge

(association insecticide – fongicide : 25% d'endosulfan + 25% de thirame (TMD)) au moment du semis, donc un facteur commun à toutes les semences. Le champ est naturellement infesté par le striga. Tout comme le caïman rouge, l'effet de ce dernier n'est pas recherché.

Méthode d'estimation du rendement et des biomasses des céréales, du niébé et de striga

Les composantes de production et de rendement ont été mesurées à partir d'un échantillon récolté sur les 2 lignes centrales d'une sous parcelle, où le nombre de plants est compté.

Les variables suivantes ont été mesurées : le nombre d'épis et de grains par plante, le poids d'un épi, le poids de 1000 grains et la biomasse pour le mil et le sorgho et pour le niébé le nombre de gousses récoltées par pied, le nombre de graines par gousse, le poids d'une gousse, le poids de 1000 graines et le poids de fanes.

Le nombre de pieds et le poids d'un plant de striga ont été également comptés et pesés sur les 2 lignes centrales de sous parcelle. Parmi ces plants, 50 sont enlevés, séchés en milieu ambiant et pesés.

Données collectées

Les données susvisées (pieds de striga par $0,25 \text{ m}^2$) en observation sont transformées par la formule $(x + 1)^{1/2}$ pour rapprocher les valeurs dispersées. Ces données sont collectées sur les 2 lignes centrales. Des carrés de sondage de $0,25 \text{ m}^2$ à intervalles réguliers dans 4 poquets de sorgho et de mil sur les deux (2) lignes centrales dans les blocs de cultures pures ou associées ont été placés, les plants de striga présents à 6 semaines après semis (Sas), 8, 10 et 12 Sas ont été comptés. A 12 Sas, nous avons compté aussi le nombre de plants de striga avec capsules. Les symptômes du striga sur le sorgho et le mil ont été estimés selon l'échelle de notation de Kim (1995) allant de 1 à 9.

Les termes de comparaison

Les rendements en grain et biomasse de sorgho, mil, niébé ainsi que la biomasse du striga sur les 2 lignes centrales ont été estimées. Plusieurs concepts ont été mis au point pour estimer les rendements des cultures associées (Willey et Rao, 1980 ; Huxley et Maingu, 1978).

Le coefficient d'équivalence en surface (CES) ou le Land Equivalent Ratio (LER)

Le CES encore appelé rendement relatif total ou LER, défini par Willey et Rao (1980) est égal à la superficie nécessaire pour obtenir en culture pure la même production que sur un hectare de cultures associées. Selon Huxley et Maingu (1978) les densités de populations doivent se situer au niveau optimum, aussi bien pour les cultures associées que pour les cultures pures. Le CES pour deux cultures données (a) et (b) est calculé de la façon suivante :

$$\text{CES ou LER} = \text{CES a} + \text{CES b} = \text{Pa} / \text{P}'\text{a} + \text{Pb} / \text{P}'\text{b}$$

CESa ou LERa et CESb ou LERb étant le CES ou LER partiel des plantes (a) et (b)

Pa et Pb étant les rendements des plantes (a) et (b) à l'hectare en culture associée

P'a et P'b sont les rendements des plantes (a) et (b) à l'hectare en pure

Si CES >1 : indique un avantage de rendement de la culture associée sur la culture pure.

Si CES <1: indique un désavantage de rendement de la culture associée par rapport à la culture pure.

Le ratio de densité (RD)

Le RD est un ratio de population des cultures en association par rapport à la population de la culture pure. Le RD peut être exprimé par la formule suivante :

$$\text{RD} = \text{Densité de culture A en association} / \text{Densité de culture A en pure} + \text{Densité de culture B en association} / \text{Densité de culture B en pure}$$

La Pression de Population des Cultures (ou Population végétale) =PPC (PPV)=RDx100

Le coefficient de valorisation de culture (CVC)

Le CVC est une relation entre le coefficient d'équivalence en surface (CES ou LER) et le ratio de densité de cultures (RD). Il permet d'évaluer la performance d'une culture associée par la performance de plant de chaque poquet. Le CVC est calculé par la formule suivante : $CVC = LER \text{ ou } CES / RD$

Résultats

Les densités de striga en fonction des systèmes culturaux

Concernant le mil, le striga apparaît dès la 6^e Sas (42^e jour) sur les variétés locales de mil (Moro) et améliorées (GB 8734) dans tous les systèmes de culture. La densité de striga augmente régulièrement de la 6^e à la 12^e Sas. Quel que soit le système de culture, les densités moyennes de striga à 6, 8, 10 et 12 Sas et les plants de striga avec capsules à 12 Sas ne diffèrent pas significativement du point de vue statistique (P=0,01) entre variétés, espèces et systèmes de culture. Plus de la moitié des plants de striga à la 12 Sas porte de capsules (Tableau I).

Tableau I: Densité moyenne de striga (pieds de striga sur 0,25 m²) à 6, 8, 10 et 12 Sas sur mil et les plants de striga avec capsules à 12^e Sas selon les systèmes de culture (sans la variété TN5-78).

Système de culture	Espèces	Densité moyenne de striga				Plants striga avec capsules à 12 Sas
		6 Sas	8 Sas	10 Sas	12 Sas	
Culture pure	Mil Moro	1,36	5,56	7,22	7,30	4,99
	Mil GB 8734	1,18	3,75	5,19	5,43	3,74
Cultures associées	Moro/ Niébé IT 81 D-994	1,21	4,78	6,38	6,47	4,08
	GB 8734/ Niébé IT 81 D-994	1,33	4,91	6,26	6,39	3,95

^aLes données ont été transformées par la formule $(x + 1)^{1/2}$

Avec le sorgho, le striga apparaît également dès la 6^e Sas dans les deux systèmes de culture avec une plus forte densité dans le système de culture associé Samboul / TN5-78. A la 8^e, 10^e et 12^e Sas, la densité de striga reste statistiquement la même (P=0,01). Mais celle-ci augmente régulièrement de la 6^e à la 12^e Sas en culture pure comme en cultures associées. A la 12^e Sas certains plants de striga portent de plants avec capsules, mais ne diffèrent pas significativement (P=0,01) (Tableau II).

Tableau II : Densités moyennes de striga (pieds à 0,25 m²) à 6, 8, 10 et 12 Sas sur le sorgho et les plants de striga avec capsules à 12 Sas selon les systèmes de culture et les espèces.

Système de culture	Espèces	Densité moyenne de striga				Plants striga avec capsules à 12 Sas
		6 Sas	8 Sas	10 Sas	12 Sas	
Culture pure	Samboul	1,03a	4,07a	4,46a	6,62a	3,72a
	S – 35	1,06a	3,06a	4,02a	4,87a	3,27a
Culture associée	Samboul /TN5-78	1,57b	3,63a	4,98a	5,23a	3,17a
	S-35 /TN5-78	1,11a	3,10a	4,17a	4,62a	3,13a

^aLes données ont été transformées par la formule $(x + 1)^{1/2}$

^bLes valeurs suivies d'une même lettre n'ont pas de différence significative au seuil de 1% selon le test de Duncan.

Rendements des espèces testées en fonction des systèmes de culture et des attaques du striga

La sévérité d'attaque de striga, sur les variétés de mil Moro et GB 8734 ne présente pas de différences significatives dans les différents systèmes de culture (P=0,01). Il en est de même pour les poids des épis et des grains de mil ainsi que les biomasses de mil et de striga. Tandis que les poids des gousses, des graines et les biomasses des fanes de niébé (IT81D-994) en culture pure dépassent ceux des cultures associées (P=0,01): IT 81 D-994 n'a pas profité de son association avec les variétés de mil Moro et GB 8734. Son rendement propre en présence de Moro a baissé de 1 664 kg/ha en gousses, de 1698 kg en graines et 625 kg en biomasses ; en présence de GB 8734, il est réduit de 1706 kg/ha en

gousses, de 854 kg/ha en graines et de 1158 kg/ha en biomasse de fanes (Tableau III).

Tableau III : Poids moyens de grains, d'épis de mil et de niébé et les biomasses de tige, striga (kg/ha) selon le système de culture

Système de culture	Espèces	Mil					Niébé		
		Sévérité (%)	Poids grains	Poids épis	Biomasse tige	Biomasses Striga	Poids gousses	Poids grains	Biomasse Fane
Culture pure	Moro	93a	163a	262a	1000a	146a	-	-	-
	GB 8734	81a	319a	426a	758a	935a	-	-	-
	IT 81D-994	-	-	-	-	-	2301b	1231b	1803b
Culture associée	Moro/	82a	479a	1002a	843a	1006a	-	-	-
	IT 81D-994	-	-	-	-	-	636a	433a	625a
	GB 8734/	80a	580a	1459a	653a	1095a	-	-	-
	IT 81D-994	-	-	-	-	-	595a	377a	645a

*Les valeurs suivies d'une même lettre sur la colonne n'ont pas de différence significative au seuil de 1% selon le test de Duncan.

La sévérité des symptômes de striga sur le sorgho ne présente pas une différence significative selon les traitements. Les rendements d'épis, de grains et les biomasses de sorgho ainsi que les biomasses de striga ne présentent pas non plus de différences significatives ($P=0,01$). Les rendements moyens des gousses, des graines et de biomasses de fanes de niébé (TN5-78) en culture pure sont statistiquement plus élevés qu'en cultures associées. En effet, le niébé TN5-78 n'a pas aussi profité de l'association avec le sorgho pour les rendements en gousses, en graines et en biomasses de fanes. En présence de Samboul, son rendement a diminué de 296 kg/ha en gousses, de 197 kg/ha en graines et de 1 147 kg/ha en biomasses de fanes. En présence de S-35, il a régressé de 446 kg/ha en gousses, de 359 kg/ha en graines et de 1 317kg/ha en biomasses de fanes. Par ailleurs, l'association Samboul/TN5-78 donne un rendement plus élevé par rapport à l'association S-35/TN5-78 en gousses (150 kg/ha), en graines (162 kg/ha) et en biomasses de fanes (170 kg/ha) de TN5-78 (Tableau 4).

Tableau IV : Rendements moyens et biomasses (en kg/ha) de sorgho et de niébé selon les systèmes de culture

Système de culture	Espèces	Sorgho					Niébé		
		Sévérité (%)	Poids épis	Poids grains	Biomasses tige	Biomasses <i>Striga</i>	Poids gousses	Poids graines	Biomasses fanes
Culture pure	Samboul	51 a	1366a	712a	1818a	356a	-	-	-
	S-35	53 a	919a	635a	2436a	356a	-	-	-
	TN5-78	-	-	-	-	-	1105b	873b	1 841b
Culture associée	Samboul	58 a	800a	510a	1961a	315a	-	-	-
	/								
	TN5-78	-	-	-	-	-	809ab	676ab	694ab
	S-35/	57 a	800 a	648a	1386a	245a	-	-	-
	TN5-78	-	-	--	-	-	659a	514a	524a

Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont significativement différentes au seuil de 1% selon le test de Duncan.

Le coefficient d'équivalence en surface

Le coefficient d'équivalence en surface (CES ou LER) des cultures de sorgho et de mil en association est supérieur à 1,00 tandis que celui des cultures pures est égal à 1,00. Les DR, CVC et la pression de la population dans l'association sorgho ou mil et niébé sont présentés dans le tableau V.

Tableau V: Le CES ou LER de rendements du sorgho, du mil et du niébé en cultures pures et en associées.

Systèmes de cultures	Espèces	Rendements de grains (kg/ha)	CES ou LER	Espèces	Rendements de grains	CES ou LER
Culture pure	Samboul	711,96	1,00	Moro	162,25	1,00
	S- 35	634,61	1,00	GB 8734	425,50	1,00
	TN 5- 78	873,00	1,00	IT 81 D – 994	1 230,52	1,00
Culture associée	Samboul/	509,08	1,50	Moro	1 001,53	6,52
	TN 5 - 78	676,18		IT 81 D – 994	432,51	
	S – 35/	648,44	1,61	GB 8734	1 458,96	3,73
	TN 5 - 78	513,80		IT 81 D – 994	376,96	

Le ratio de densité (RD) et le coefficient de valorisation de culture (CVC)

Le RD et le CVC des cultures associées sont supérieurs à 1 alors que ceux des cultures pures sont égaux à 1. La pression de la population des cultures pures (100%) est inférieure à celle des cultures associées (128 % pour le sorgho et 136% pour le mil) (Tableau IV).

Tableau VI : Les RD, CVC et la pression de la population végétale dans l'association sorgho ou mil et niébé.

Systèmes de culture	Espèces	Densité (plants/ha)	RD	CVC	Pression population	Espèces	Densité (plants/ha)	RD	CVC	Pression population
Culture pure	Samboul	41 666	1,00	1,00	100	Moro	20.000	1,00	1,00	100
	S- 35	41 666	1,00	1,00	100	GB 8734	20.000	1,00	1,00	100
	TN5-78	50.000	1,00	1,00	100	IT81 D-994	62.500	1,00	1,00	100
Culture associée	Samboul/	20.000	1,28	1,16	128	Moro	16.666	1,36	4,80	136
	TN 5-78	40.000	-	-	-	IT 81 D-994	33.333	-	-	-
	S-35/	20.000	1,28	1,26	128	GB 8734	16.666	1,36	2,75	136
	TN 5-78	40.000	-	-	-	IT 81 D-994	33.333	-	-	-

Discussion

Notre étude montre que le striga fait son apparition dans les différents systèmes de cultures (cultures pures et associées) dès la sixième semaine après semis sur les variétés locales sensibles de sorgho et de mil (Samboul et Moro) et améliorées tolérantes de sorgho et de mil (S-35 et GB 8734). Sa densité augmente régulièrement en fonction du développement du système racinaire de son hôte.

L'apparition du striga dans tous les systèmes de cultures dès la 6^e Sas sur toutes les variétés de mil et sorgho testées peut s'expliquer par un fort degré d'infestation du sol en semences de ce parasite, une faible couverture du sol par le niébé dans les cultures associées. L'efficacité des racines des plantes hôtes (variétés locales et améliorées de céréales) facilitant la fixation du striga. L'augmentation régulière de la densité du striga de la 6^e à la 12^e Sas peut être due à la croissance des cultures faux-hôtes et donc de leurs racines multipliant ainsi la surface de contact avec les graines de striga.

Mais dans notre cas, les résultats statistiques ne montrent aucune différence significative ($P=0,01$) à la 6, 8, 10 et 12 Sas entre les systèmes de culture. A la 12^e Sas (84 jours) certains plants de striga n'ont pas encore de capsules compte tenu de leur émergence tardive, la germination des semences n'est simultanée et leur cycle biologique, de la germination à la formation de graines, peut varier entre 2 à 4 mois. Cela pourrait être justifié par la biomasse et la sévérité de l'attaque de striga qui ne présentent pas de différences significatives ($P=0,01$). La comparaison des rendements de niébé (IT 81 D-994 et TN5-78) en culture pure et en culture associée fait ressortir que la culture pure produit plus de gousses, de graines et de biomasses que les cultures associées.

Mais le rendement biologique total sur les parcelles semées en association est supérieur à celui de la superficie équivalente semée en cultures pures. En ce qui concerne le niébé, les rendements en culture pure sont supérieurs à ceux de la culture associée à cause de la réduction de densité de niébé et la concurrence de celui-ci avec le mil ou le sorgho en culture associée. Les CES sont supérieurs à 1 en cultures associées (1,489 pour Samboul/ TN5-78 ; 1,610 pour S-35 / TN5-78 ; 6,524 pour Moro/ IT 81 D-994 et 3,735 pour GB 8734/ IT 81 D-994). La capacité de production d'un poquet de mil ou de sorgho cultivé en présence de niébé est supérieure à celle d'un poquet de mil ou de sorgho en culture pure comme cela a été déterminé par la mesure du coefficient de valorisation de culture. Cela montre un avantage de rendement pour les cultures associées par rapport aux cultures pures. Cet avantage est confirmé par la pression de la population des plants qui est supérieur à 100 % en culture associée.

Les substrats des racines du niébé contiennent les mélanges des métabolites qui stimulent la germination des graines de striga (Oswald et *al.*, 2002; Emechebe et Ahonsi, 2003; Gbèhounou et Adango, 2003; Kuchinda et *al.*, 2003; Olupot et *al.*, 2003). Dans d'autres travaux l'association du sorgho avec le niébé, la crotalaire (*Crotalaria* spp.) ou le maïs avec le crotalaire a réduit significativement les densités de striga et augmenté les rendements en grain de maïs et sorgho (Tenebe et Kamara, 2002 ; Zeyaur et *al.* 2007). Cette combinaison fournit des nouveaux

moyens de lutte dans la réduction de stock de graines de striga dans le sol à travers les cultures faux-hôtes du striga qui provoquent la germination suicidaire (Khan et *al.*, 2002). En outre, les feuilles vertes de *Desmodium* spp. récoltées d'une culture associée précocement et enfouies comme engrais vert dans le sol, sont capables d'exercer leur effet sur le striga, qui fait de lui une plante piège plus efficace que les autres légumineuses.

Quelques variétés de niébé, de soja et d'arachide ont aussi été utilisées pour contrôler le striga à travers une combinaison des plantes faux-hôtes suicidaires qui provoquent la germination suicidaire des graines de striga, la fixation de N et l'étouffement des plants de striga (Kureh et *al.*, 2000 ; Oswald et *al.*, 2002; Emechebe et Ahonsi, 2003 ; Gbèhounou et Adango, 2003; Kuchinda et *al.*, 2003; Olupot et *al.*, 2003). Selon Fussel (1985) ; cet avantage de rendement peut s'expliquer à environ 50%, par une plus grande interception du rayonnement et une augmentation de l'humidité absorbée par la culture associée par rapport à la culture pure.

Conclusion

L'étude nous a permis ainsi de montrer l'avantage des cultures associées (sorgho ou mil et niébé) par rapport aux cultures pures. Les cultures associées sont ensuite acceptées sur le plan national par les paysans tchadiens. Les variétés améliorées de sorgho et de mil pouvaient donner un rendement plus élevé que les variétés locales si elles avaient bénéficiées de toutes les potentialités (fertilité, faible concurrence avec les adventices, pluviométrie, etc.). Les variétés locales sont plus rustiques et ne nécessitent pas autant de soins que les variétés améliorées ou importées. Les variétés locales méritent d'être prises en considération dans les programmes nationaux de sélection visant à améliorer leur productivité. L'effort doit être fourni pour maîtriser les systèmes de cultures associées en combinant la densité, la date de semis, le cycle de culture et la fertilité du sol et l'utilisation des faux-hôtes pour lutter contre le striga. D'autres essais sont aussi nécessaires pour étudier l'arrangement spatial des cultures associées et le choix des légumineuses à couverture rapide du sol.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec l'appui financier de PRBC/PSAOP dans le cadre du sous-projet lutte intégrée contre le striga. Nous remercions Zoua Guimbé, Fadéné Souapibé Pabamé, Ngaradjim Moitanelngar, Antcha Kopena, pour leur collaboration dans la collecte des données.

Bibliographies

Berner D.K. & Kling J.G. 2001. Sustainable control of *Striga* spp. Through a focussed integrated pest management program. Pages 1-11 *In*: Badu-Apraka, B., Akoroda, M.O., Ouedraogo M. and Quin (eds.), F.M. Contributing to food self-sufficiency: Maize Research and Development in West and central Africa. Proceedings of a regional Maize workshop 29 May-2 june 1995, IITA, Cotonou, Benin Republic.

Dembele B., Raynal-Roques A., Salle G. & Tuquet C. 1994. Plantes parasites des cultures et des essences forestières au Sahel. John Libbey CIC, Rome Italie, 43p.

Division de la Statistique Agricole 2004. Annuaire des statistiques agricoles. N'djamena. pp. 23-24

Emechebe A.M. & M.O. Ahonsi. 2003. Ability of excised root and stem pieces of maize, cowpea and soybean to cause germination of *Striga hermonthica* seeds. *Crop Prot.* 22:347–353.

Fussel L. K. 1985. Evaluation des systèmes des cultures associées mil/niébé au Niger Occidental, 3 p.

Gbèhounou G. & Adango. E. 2003. Trap crops of *Striga hermonthica*: *In vitro* identification and effectiveness *in situ*. *Crop Prot.* 22:395–404.

Huxley P. A. & Maingu Z. 1978. Uses of systemic spacing design as an aid to the study of inter cropping: some general considerations. *Expl. Agric.* 14: 49-56.

Kim, S. K. (1995): Genetics of maize tolerance of *Striga hermonthica*. IITA, Ibadan, *Crop Science* 34 (4): 900-907

Kuchinda N.C., Kureh I., Tarfa B.D., Shinggu C., & Omolehin. R. 2003. On farm evaluation of improved maize varieties intercropped with some legumes in the control of *Striga* in the northern Guinea savanna of Nigeria. *Crop Prot.* 22:533–538.

- Kureh I., Chiezey U.F. & Tarfa B.D. 2000. On-station verification of the use of soybean trap crop for the control of *Striga* in maize. *Afr. Crop Sci. J.* 8:295–300.
- Lagoke S.T.O., Parkinson V. & Agunbiade R. M. 1991. Parasitic Weed and control methods in Africa. Pages 3 – 14 *In: Combatting striga in Africa. Proceedings International Workshop organised by IITA, ICRISAT and IRDC (1991) edited by S.K. Kim, IITA, Ibadan, Nigeria.*
- Olupot J.R., Osiru D.S.O., Orykot J. & Gebrekidan B. 2003. The effectiveness of *Celosia argentic* (*Striga* 'chaser') to control *Striga* on sorghum in Uganda. *Crop Prot.* 22:463–468.
- Oswald A., Ransom J.K., Kroschel J. & Sauerborn J. 2002. Intercropping controls *Striga* in maize based farming systems. *Crop Prot.* 21:367–374.
- Polasze K. A. & Delvar G. 2000. Les foreurs de tiges de céréales en Afrique : Importance économique, systématique ennemis naturels et méthodes de lutte. Edition CIRAD Toulouse (France), 4-6 p.
- Ramaiah K.V., Parker C., Vasudena Rao, M.J. & Musselman L.J. 1983. Manuel d'identification et de lutte contre le striga. Bulletin d'information N° 15 ; *ICRISAT*, 52p.
- Salle G. & Raynal-Roques A. 1989. Le striga. Recherche N° 206, France, 44-52 p.
- Tenebe V. A., & Kamara H.M. 2002. Effect of *Striga hermonthica* on the growth characteristics of sorghum intercropped with groundnut varieties. *J. Agron. Crop Sci.* 188:376–381.
- Willey R.W. & Rao M.R.1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Expl.agric* 16:117-125.
- Zeyaur R. Khan, Charles A. O. Midega, Ahmed Hassanali, John A. Pickett, & Lester J. Wadhams. 2007. Assessment of Different Legumes for the Control of *Striga hermonthica* in Maize and Sorghum. Published in *Crop Sci* 47:728–734.

A PRELIMINARY DRIS MODEL PARAMETERS FOR MINERAL NUTRITION ASSESSMENT OF GROUNDNUT (*ARACHIS HYPOGAEA*) IN BENIN (WEST AFRICA)

G. D. Dagbenonbakin^{1,2}; Emile C. Agbangba^{2,3} ; V. Kindomihou⁴

¹ Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, (INRAB), 01 BP 884 Cotonou Bénin ; E-mail: dagust63@yahoo.fr

² Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, 01 BP 123, Parakou, Bénin ; Email : agbaemile@yahoo.fr

³ Regional Centre for Studies on the Improvement of Plant Adaptation to Drought, P. Box 3320 Thies, Senegal

⁴ Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP526 Cotonou

Abstract

Nutritional diagnosis is an important tool for increasing grain yield and grain quality through efficient management. Critical leaf nutrient concentrations were often used to diagnose the nutritional causes of crop under performance. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS), however, provides a reliable means of linking leaf nutrient concentrations to the yield of groundnut, and may be developed for this crop using existing experimental data. In the present study, carried out in the Upper Oueme Catchment of Benin in 2001 and 2002, grain yield of groundnut and leaf nutrient concentration data from organic and inorganic trials were used to establish DRIS norms for N, P, K, Mg, Ca, S and Zn and statistical parameters for groundnut. The DRIS norms provided by this study were K/Ca, K/Mg, K/N, K/S, K/Zn, Mg/Ca, Mg/P, Mg/Zn, N/Ca, N/Mg, N/S, P/K, P/N, P/S, P/Zn, S/Ca, S/Zn and Zn/Ca. Although the database was relatively small, the norms

derived for nutrient ratios of key biological significance, i.e. N/S and K/N, were within the expected narrow ranges for higher plants, giving credibility to both the database and the DRIS model. Data from future surveys and field experiments may subsequently be used to enlarge the database allowing the refinement of model parameters and hopefully an expansion of the diagnostic scope such as to include other micro-nutrients. The nutrient status assessment using the selected DRIS norms shows a good nutrient level for N, P, K, Ca, S and Zn in the groundnut leaves for high yielding. As it stands, this preliminary DRIS model for groundnut offers a good diagnostic tool for evaluating the N, P, K, Ca, S and Zn status of groundnut crops in Benin.

Keywords: DRIS Preliminary, DRIS norms, grain yield, groundnut, Benin

1. Introduction

The plant material analysis for diagnostic purposes is based on the assumption that causal relationships exist between growth rate (and yield) and nutrient content in the shoot dry matter (Marschner, 1997). Critical leaf nutrient concentrations were frequently used to diagnose nutritional status of plants (Tyner, 1946; Viets *et al.*, 1954; Beaufils and Sumner, 1977). The critical concentration approach is somewhat erroneous in that 'critical nutrient concentrations' are not independent diagnostics, but can vary in magnitude as the background concentrations of other nutrients increase or decrease in crop tissue (Walworth and Sumner 1986; Bailey 1989, 1991, 1993). These criteria have been evaluated for a wide range of crops (Katyal and Randhawa 1985; Jones *et al.* 1990; Westfall *et al.* 1990; Kelling and Matocha 1990). Walworth and Sumner (1987) underline that foliar analysis is helpful for assessing plant nutrient status only if adequate procedures are available for making diagnoses from analytical data. According to Beaufils (1973) and Walworth and Sumner (1987), an alternative approach to nutritional status evaluation is the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). This method uses a comparison of leaf tissue concentration ratios of nutrient pairs with norms developed from high-yielding populations to diagnose nutrient status. DRIS has been used

successfully to interpret the results of foliar analyses for a wide range of crops such as rubber and sugarcane (Elwali and Gascho 1984), pineapple (Agbangba, 2008; Agbangba *et al.*, 2010a; Dagbenonbakin *et al.*, 2010; Agbangba *et al.*, 2010b; Agbangba, 2011a; Agbangba, 2011b), cotton (Dagbenonbakin, 2005; Dagbenonbakin *et al.*, 2009), mango (Singh, 2005), yam (Dagbenonbakin *et al.*, 2011), vegetables, potatoes, wheat (Amundson and Koehler 1987; Meldal-Johnsen and Sumner 1980) and even forage grass (Bailey *et al.* 1997a, b, 2000).

China leads in production of groundnuts having a share of about 41.5% of overall world production (<http://en.wikipedia.org/wiki/Peanut>), followed by India (18.2%) and the United States of America (6.8%). Groundnut is one of the main annual crops in Benin. The cultivated area of this crop occupies about 100,000 hectares (ha) in Benin. In this country, groundnut oil is often used in cooking, because it has a mild flavor and a relatively high smoke point. Due to its high monounsaturated content it is considered more healthy than saturated oils, and is resistant to rancidity. Collines Department is one of the main area of production of this crop and the yield did not exceed 0.90 t.ha⁻¹ in Benin.

As yet, DRIS has not been applied to groundnut because of the lack of suitable survey data to establish the DRIS model parameters. The aim of the present study was to develop DRIS model parameters for groundnut using grain yield and leaf tissue nutrient concentration data from the 2001 and 2002 through organic and inorganic fertilizer survey for assessing mineral nutrient of this crop in the Upper Catchment of Benin.

2. Material and methods

2.1. Experimental site

Experiments were carried out in 2001 and 2002 at three sites: Beterou (southern Borgou Department), Dogue (southern Donga Department), and Wewe (border of southern Borgou and southern Donga Departments), at a distance of about 45, 87 and 80 km, respectively, from Parakou. The distribution of the plots at the different sites is shown in figure 2 and 3.

Figure 2. Location of the experiment area (Upper Ouémé Catchment)

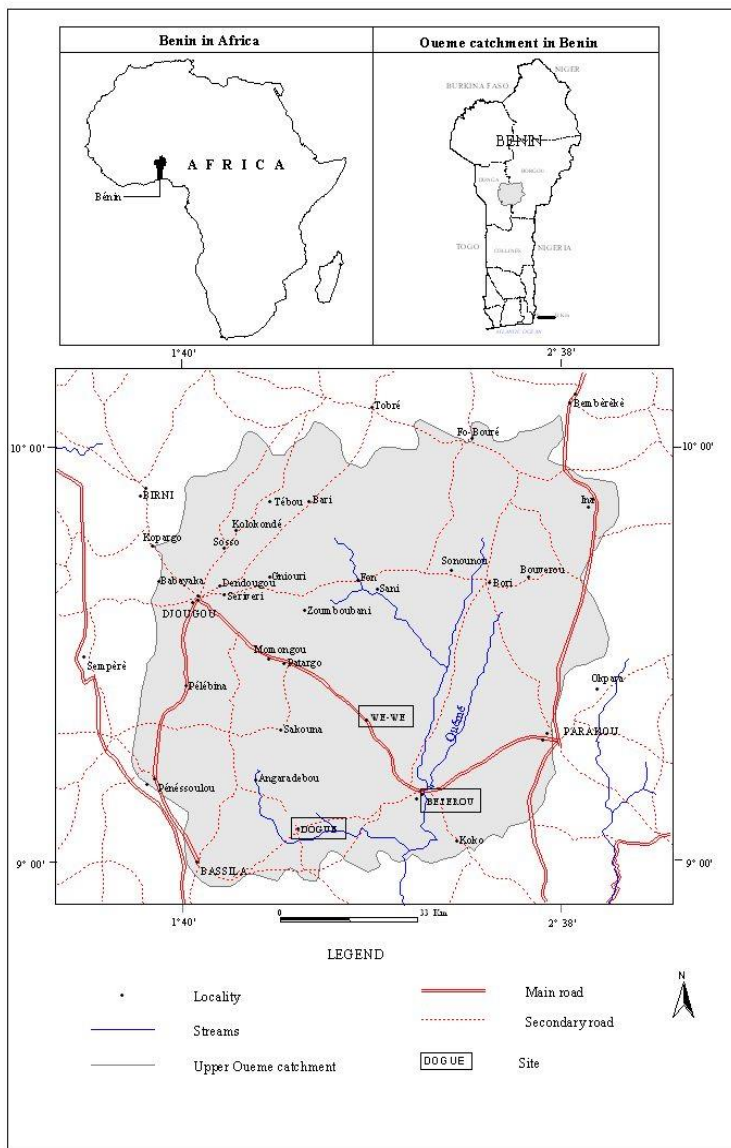
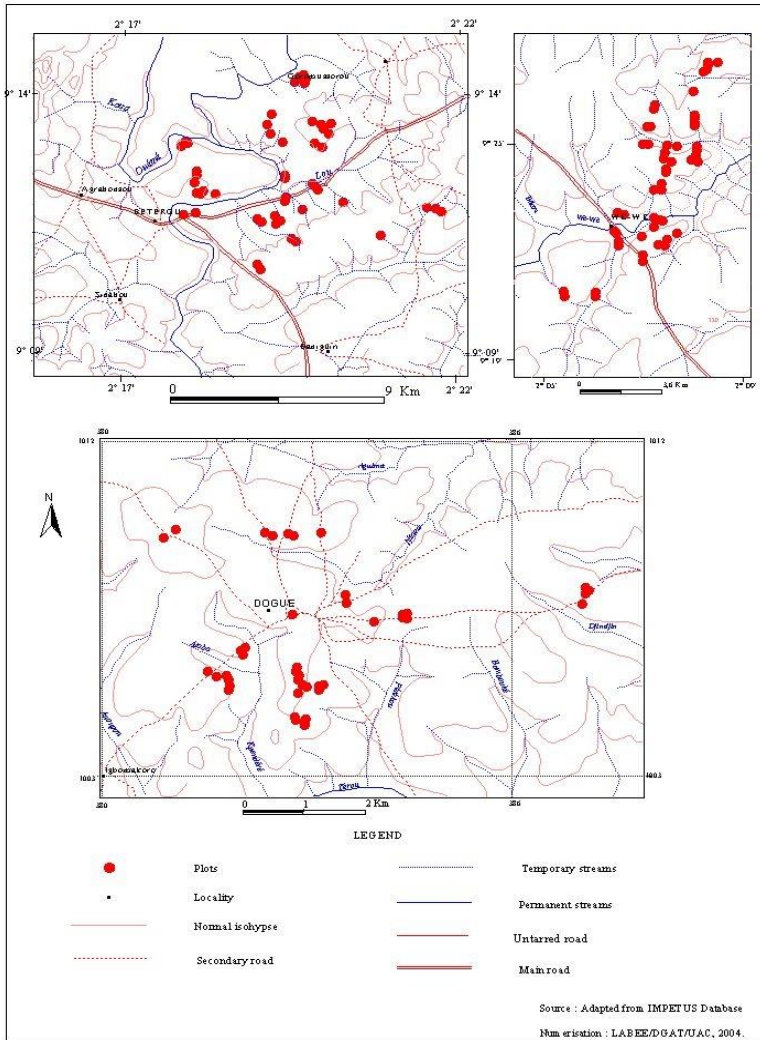


Figure 3: Map of the distribution of the field plots at the three sites



Soil textures (table 1) at Beterou, Dogue and Wewe taken in the top 20 cm were loamy sand with 3-10 % of clay and 76-86 % of sand, and sandy loam with 7-13 % of clay and 73-80 % of sand on all site. Soils in the three locations have low fertility.

Table 1: Overview of soil characteristics (plough layer: 0 – 20 cm) at the beginning of the experiment (in *parenthesis*) *Standard deviation*

Sites	Physical properties				Chemical properties					
	Clay	Silt	Sand	Texture	P	K	pH	N	OM	C/N
	-----[%]-----				Mg kg ⁻¹	Cmolkg ⁻¹		-----[%]-----		
Lighter soils										
Beterou										
Mean	6.8	9.7	82.9		11.1	0.25	6.7	0.064	1.53	14.1
	(1.1)	(1.4)	(1.5)		(4.3)	(0.04)	(0.1)	(0.009)	(0.23)	(0.8)
Dogue										
Mean	7.2	9.8	81.8	LS	4.0	0.12	6.4	0.058	1.26	12.76
	(0.8)	(2.4)	(2.9)		(1.3)	(0.03)	(0.1)	(0.013)	(0.21)	(0.8)
Wewe										
Mean	7.2	11.0	81.2		6.3	0.14	6.6	0.058	1.26	16.7
	(0.9)	(2.0)	(2.0)		(2.5)	(0.03)	(0.1)	(0.016)	(0.17)	(9.4)
Heavier soils										
Beterou										
Mean	8.8	11.7	78.2		17.6	0.31	6.7	0.061	1.66	15.5
	(1.5)	(1.4)	(1.5)		(11.8)	(0.07)	(0.1)	(0.019)	(0.69)	(2.3)
Dogue										
Mean	8.6	13.8	76.7	SL	5.2	0.15	6.4	0.064	1.42	13.1
	(0.7)	(1.9)	(1.8)		(3.1)	(0.03)	(0.1)	(0.008)	(0.21)	(0.5)
Wewe										
Mean	9.6	14.2	75.6		8.1	0.20	6.8	0.068	1.47	13.3
	(1.8)	(1.9)	(1.7)		(3.8)	(0.07)	(0.1)	(0.011)	(0.27)	(2.3)

The climate on the site is Soudano-Guinean. The rainfall distribution is unimodal with two seasons; a rainy season from mid of April to mid of October, and the subsequent dry season. The average total annual rainfall is 1167.6 mm. The average temperature is 25°C. First rainfall begins in March, and becomes significant from May to September.

2.2. Sampling design and chemical analyses

Mature leaves from both the main stem and either cotyledon lateral branch were sampled at the blooming stage as recommended by Jones *et al.*, (1990). After air drying, material was further dried at 70°C to a constant weight, pre-ground by a Brabender mill and stored dry. Soil samples, 0-20 cm depth, were collected at each farmer field before the experimental block was laid out. The groundnut grain was harvested in a (2 x 2) m² area and repeated thrice per plot. Plant material was ground by a planetary mill (Retsch). The following analyses were carried: C, N and S determined by elemental analysis in the EuroEA 3000. Further nutrients content were determined after dry ashing in porcelain crucibles at 550°C in a muffle furnace, dissolving the ash in concentrated nitric acid, evaporation to dryness on a sand bath (to precipitate silicate), and taking up with concentrated nitric acid again, and transferred to volumetric flasks with several rinses of ultra pure water (MilliporeQ). P was determined using the molybdo-vanadate blue method, with a spectral photometer (model Eppendorf Digitalphotometer 6114) at wavelengths of 465 and 665 µm. K, Ca, Mg and micronutrients were determined on a Perkin-Elmer PE 1100 B atomic absorption spectrophotometer (flame).

The soil texture (five fractions) was done by Robinson pipette (Tran *et al.*, 1978); the pH was determined in water (a soil/water ratio of 2:1) using a pH meter with glass combination electrode with a WTW pmx 2000; total N was determined using the macro Kjeldahl procedure described by Jackson (1958) with a Gerhardt Vapodest; organic C was determined using the method described by Walkley and Black (1934) and the organic matter content calculated by multiplying organic C by 1.724; C, N, and S were determined by an automatic Elemental Analyser EuroEA 3000 according to the Dumas method; P was extracted with calcium-acetat-lactat-extraction (CAL) and determined by colour

development in the extract with molybdenum blue and photometric measurement. Micronutrient levels were determined after extraction of soil samples with 01 N HCl, adjusted to volume, and filtered through Whatman No1. Analysis was done with a Perkin-Elmer flame atomic absorption spectrophotometer, Model 70PE 1100 B.

2.3. Development of DRIS model and data analysis

The grain yield and leaf tissue nutrient concentration data DRIS norms and coefficients of variation (CVs) were derived according to the procedure of Walworth and Sumner (1987). Scatter diagrams of yield versus nutrient concentrations and all conceivable nutrients ratios were constructed and subdivided into high-yielding and low-yielding sub-populations with the cut off point between the two subpopulations set at 1233,50 kg ha⁻¹ (mean + interval of confidence). The rationale for this subdivision is that nutrient data for high-yielding plants are usually more symmetrical than those for low-yielding plants (Walworth and Sumner 1986, 1987). The yield at which the separation between the two sub-populations was set was a compromise between maximizing the potential for data symmetry in the high-yielding sub-population (i.e. by excluding data for low-yielding) (Ramakrishna *et al.*, 2009), yet including as many data points as possible for statistical credibility (Walworth and Sumner, 1987).

Mean values or norms for each nutrient expression together with their associated CVs and variances were then calculated for the two sub-populations. The mean values in the high-yielding sub-population of twenty one expressions involving seven nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Zn, and S) were ultimately chosen as the diagnostic norms for groundnut. The selection was made along the following priorities. The first was to ensure that the leaf nutrient concentration data for the high-yielding sub-population were relatively symmetrical or unskewed, so that they provided realistic approximations of the likely range of interactive influences of different nutrients on crop productivity (Ramakrishna *et al.*, 2009). The second priority was to select nutrient ratio expressions that had relatively unskewed distributions in the high-yielding sub-population (skewness values <1.0. The third priority was to select nutrient

expressions for which the variance ratios (V low/V high) were relatively large (>1.0), thereby maximizing the potential for such expressions to differentiate between 'healthy' and 'unhealthy plants' (Walworth and Sumner 1987) and the fourth priority was to select equal numbers of nutrient expressions for each of the nutrients, since this was an absolute orthogonal requirement of the mathematical model (Walworth and Sumner 1987).

Having evaluated the model parameters, DRIS indices may then be calculated for nutrients A to N using the following generalized equations (Bailey *et al.*, 1997a; Hallmark *et al.*, 1987):

$$\text{X index} = \left[f\left(\frac{\text{X}}{\text{A}}\right) + f\left(\frac{\text{X}}{\text{B}}\right) + \dots - f\left(\frac{\text{M}}{\text{X}}\right) - f\left(\frac{\text{N}}{\text{X}}\right) - \dots \right]$$

$$\text{Where } f\left(\frac{\text{X}}{\text{A}}\right) = 100 \left[\left(\frac{\text{X}}{\text{A}}\right) / \left(\frac{x}{a}\right) - 1 \right] / \text{CV} \text{ when } \frac{\text{X}}{\text{A}} > \frac{x}{a} + \text{SD}$$

$$\text{and } f\left(\frac{\text{X}}{\text{A}}\right) = 100 \left(1 - \left(\frac{x}{a}\right) / \left(\frac{\text{X}}{\text{A}}\right) \right) / \text{CV} \text{ when } \frac{\text{X}}{\text{A}} < \frac{x}{a} - \text{SD}.$$

$\frac{\text{X}}{\text{A}}$ is the ratio of concentrations of nutrients X and A in the sample

while $\frac{x}{a}$, CV, SD are the mean, coefficient of variation, and standard

deviation for the parameter $\frac{\text{X}}{\text{A}}$ in the high-yielding population

respectively. Similarly, other nutrient ratios $\frac{\text{X}}{\text{B}}$, $\frac{\text{M}}{\text{X}}$ and $\frac{\text{N}}{\text{X}}$ are

calibrated against the corresponding DRIS reference parameters, $\frac{x}{b}$, $\frac{m}{b}$

and $\frac{n}{x}$. Nutrient indices calculated by this formula can range from

negative to positive values depending on whether a nutrient is relatively

insufficient or excessive with respect to all other nutrients considered. The more negative is the index value for a nutrient, the more limiting is that nutrient.

Descriptive statistics were determined for grain yield, leaf nutrient concentration and nutrient ratio expression data using Minitab statistical software version 14. Descriptive included, means, medians, minimum and maximum values, variances, CV's and skewness values, where a skewness value of zero indicates perfect symmetry, and values greater than 1.0 indicate marked asymmetry.

3. Results

3.1. Leaf nutrients concentration statistics

Summary statistics for the grain yield and leaf nutrient concentration data available from the 2001, 2002 trial are given in Table 2. The grain yield data ranged from 264.1 kg ha⁻¹ to 2208.3 kg ha⁻¹ with a mean of 1117.1 kg ha⁻¹ in the full population. Thirty five (35) out of eighty two (82) data points were assigned to the high-yielding subpopulation (≥ 1233.50 kg ha⁻¹). As regards the leaf nutrient concentrations, the data for all the nutrients N, P, K, Ca, Mg, S and Zn were relatively symmetrical, with 5 of them having skewness values less than 1.0 and hence were deemed suitable for DRIS model development.

Table2: Summary statistics for groundnut yield and leaf nutrient concentration data for total (n=82) and high-yielding (n=35) sub-populations

Parameters	Total yielding population (n = 82)						High yielding sub-population (n = 35)						V (low/high)
	Mean	CV	Median	Mini	Maxi	Skew	Mean	CV	Median	Mini	Maxi	Skew	
Grain (kg ha ⁻¹)	1117.1	48.5	950.3	264.1	2208.3	0.2	1674.3	14.7	1684.5	1247.0	2208.3	-0.1	1.0
Nutrient (g kg ⁻¹)													
N	3.3	15.1	3.4	1.8	4.2	-1.0	3.5	7.3	3.6	3.1	4.2	0.2	4.5
P	0.2	16.7	0.2	0.2	0.4	3.4	0.2	11.3	0.2	0.2	0.2	0.0	4.6
K	2.2	24.4	2.15	1.1	3.3	0.2	2.4	22.3	2.2	1.6	3.3	0.3	0.8
Ca	1.5	36.5	1.7	0.1	2.1	-1.5	1.8	10.9	1.8	1.3	2.1	-0.4	10.5
Mg	0.5	74.2	0.4	0.2	2	2.8	0.4	17.9	0.4	0.3	0.6	0.9	43.8
S	0.1	36.5	0.1	0	0.2	0.9	0.2	12.6	0.1	0.1	0.2	1.1	2.4
Nutrient (mg kg ⁻¹)													
Zn	27.5	31.7	26.35	9	49	0.3	27.8	29.4	26.3	16.1	48.0	0.6	1.3

3.2. Binary nutrients ratio statistics

Binary nutrient ratio combinations of all seven nutrients were therefore calculated, and summary statistics evaluated for each of the resulting 42 nutrient ratio expressions (table 3). To determine which nutrient ratio expressions in table 3 should be included in the DRIS model, the selection priorities, previously outlined (above), were sequentially applied. Firstly, nutrient ratios were selected that had skewness values less than 1.0, thereby eliminating 5 nutrient ratio expressions. Secondly, on the basis of the variance ratios (V low / V high), which had ratios greater than 1.0, 21 of the thirty seven remaining nutrient ratio expressions were chosen. And finally, in order to have the equal number of expression involved each of the nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S and Zn), tree ratios were given up considering their lower ratio variance and the orthogonal requirement of the mathematical DRIS model. Eighteen ratios were ultimately chosen as DRIS norms for groundnut. There are: K/Ca,

Table 3. Mean values of nutrient ratios for high and low-yielding sub-populations together with their respective coefficients of Variance CV's) and variances (low and high), skewness values for the high-yielding sub-population, and the variance ratios (Vlow/Vhigh)

Ratios	Low yielding sub-population						High yielding sub-population						V (low /high)
	Mean	CV (%)	Median	Mini	Maxi	Skew	Mean	CV	Median	Mini	Maxi	Skew	
N/P	15.0	27.0	14.5	7.0	23.6	-0.1	18.4	13.5	18.8	13.3	24.0	0.0	2.6
N/K	1.8	29.5	1.7	0.9	3.4	0.8	0.8	107.5	0.2	0.0	2.2	0.3	0.4
N/Ca	4.1	90.4	2.3	1.6	16.3	1.7	2.0	12.7	2.0	1.6	2.7	0.9	211.6
N/Mg	7.5	46.7	7.6	1.2	15.2	-0.1	8.9	17.0	9.0	5.2	12.1	-0.1	5.4
N/S	13	47.1	25.5	16.6	106.6	5.4	11.2	12.2	23.5	17.4	28.6	-0.1	19.6
N/Zn	1251.9	33.2	1211.6	684.3	3136.7	2.1	1396.5	31.5	1361.8	660.3	2218.1	0.2	0.9
P/N	0.1	33.7	0.1	0.04	0.1	1.5	0.1	14.1	0.1	0.04	0.1	0.7	9.9
P/K	0.1	38.2	0.1	0.1	0.2	1.3	0.1	24.6	0.1	0.1	0.1	0.6	4.4
P/Ca	0.4	119.8	0.2	0.1	1.6	1.6	0.1	15.6	0.1	0.1	0.2	0.6	631.1

P/Mg	0.6	83.0	0.4	0.1	2.1	2.3	0.5	17.2	0.5	0.3	0.7	0.4	31.2
P/S	2.1	93.4	1.6	1.0	14.3	5.8	1.3	14.5	1.3	1.0	1.9	0.9	104.4
P/Zn	93.8	56.0	83.5	35.5	256.8	1.7	75.4	27.9	71.2	43.6	123.3	0.5	6.3
K/N	0.7	24.1	0.6	0.4	1.0	0.3	0.7	25.9	0.6	0.4	1.0	0.2	0.8
K/P	9.8	33.7	9.5	4.1	18.2	0.6	12.3	23.4	12.3	7.5	19.0	0.2	1.3
K/Ca	2.8	97.0	1.5	0.8	11.9	1.8	1.4	28.5	1.2	0.8	2.3	0.5	47.2
K/Mg	4.8	46.7	4.7	0.8	9.3	-0.1	6.1	33.5	5.5	2.6	10.7	0.7	1.2
K/S	17.9	52.1	15.7	8.8	69.5	4.0	15.8	20.1	15.8	9.5	21.6	0.0	8.6
K/Zn	794.7	25.7	818.1	386.8	1310.5	0.1	897.3	23.6	885.7	481.7	1298.2	0.0	0.9
Ca/N	0.4	45.4	0.4	0.1	0.6	-0.8	0.5	12.0	0.5	0.4	0.6	-0.1	8.5
Ca/P	6.3	55.6	6.6	0.6	11.1	-0.5	9.2	15.0	9.2	6.4	12.5	0.1	6.4
Ca/K	0.6	51.8	0.7	0.1	1.2	-0.3	0.8	28.2	0.8	0.4	1.3	0.5	2.1
Ca/Mg	3.1	51.5	3.6	0.1	5.9	-0.8	4.4	18.5	4.3	2.9	6.4	0.6	3.7
Ca/S	9.8	43.2	11.1	1.3	16.5	-0.8	11.9	17.2	11.5	7.6	15.4	-0.1	4.3
Ca/Zn	466.9	56.5	474.5	78.0	1488.9	1.1	697.7	33.0	713.4	350.4	1265.8	0.5	1.3
Mg/N	0.2	99.7	0.1	0.1	0.8	1.8	0.1	19.3	0.1	0.1	0.2	1.4	92.2
Mg/P	2.9	77.8	2.2	0.5	8.5	1.6	2.1	17.6	2.1	1.4	3.2	0.7	36.8
Mg/K	0.3	92.8	0.2	0.1	1.2	1.9	0.2	34.3	0.2	0.1	0.4	1.0	22.8
Mg/Ca	1.5	195.2	0.3	0.2	13.4	2.5	0.2	18.0	0.2	0.2	0.3	0.3	4987.7
Mg/S	6.1	117.1	3.2	1.1	29.3	2.1	2.8	23.2	2.7	2.0	4.5	1.1	125.2
Mg/Zn	264.5	105.0	138.7	89.8	1042.7	2.0	158.5	29.7	154.7	81.4	264.6	0.4	34.7
S/N	0.04	20.6	0.04	0.01	0.1	-0.9	0.0	12.7	0.0	0.0	0.1	0.6	2.3
S/P	0.6	30.8	0.6	0.1	1.0	-0.5	0.8	13.7	0.8	0.5	1.0	-0.1	3.0
S/K	0.1	30.0	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	21.6	0.1	0.05	0.1	0.9	1.8
S/Ca	0.2	97.7	0.1	0.1	0.8	2.3	0.1	18.7	0.1	0.1	0.1	0.9	92.4
S/Mg	0.3	55.8	0.3	0.0	0.9	0.9	0.4	20.7	0.4	0.2	0.5	-0.1	4.8
S/Zn	50.1	42.9	48.5	13.0	142.2	2.0	58.7	29.3	54.3	28.1	93.6	0.3	1.6
Zn/N	0.001	28.0	0.001	0.000	0.002	0.3	0.001	34.1	0.001	0.001	0.002	0.8	1.0
Zn/P	0.01	43.4	0.01	0.004	0.03	0.5	0.01	28.0	0.01	0.01	0.02	0.5	2.1
Zn/K	0.001	29.9	0.001	0.001	0.003	1.3	0.001	27.0	0.001	0.001	0.002	1.0	2.0
Zn/Ca	0.003	84.4	0.002	0.001	0.01	1.8	0.002	34.1	0.001	0.001	0.003	0.6	26.3
Zn/Mg	0.006	45.2	0.01	0.001	0.01	-0.7	0.01	30.3	0.01	0.004	0.01	0.5	1.9
Zn/S	0.02	46.9	0.02	0.007	0.1	2.7	0.02	32.4	0.02	0.01	0.04	1.1	3.3

Table 4. DRIS norms, CV's and skewness values for the high-yielding sub-population, and variance ratios (Vlow/Vhigh) of nutrient ratio expressions selected for inclusion in the DRIS model for groundnut.

Ratios	High yielding sub-population						V (low /high)
	Mean	CV (%)	Median	Mini	Maxi	Skew	
N/Ca	2.0	12.7	2.0	1.6	2.7	0.9	211.6
N/Mg	8.9	17.0	9.0	5.2	12.1	-0.1	5.4
N/S	11.2	12.2	23.5	17.4	28.6	-0.1	19.6
P/N	0.1	14.1	0.1	0.04	0.1	0.7	9.9
P/K	0.1	24.6	0.1	0.1	0.1	0.6	4.4
P/S	1.3	14.5	1.3	1.0	1.9	0.9	104.4
P/Zn	75.4	27.9	71.2	43.6	123.3	0.5	6.3
K/N	0.7	25.9	0.6	0.4	1.0	0.2	0.8
K/Ca	1.4	28.5	1.2	0.8	2.3	0.5	47.2
K/Mg	6.1	33.5	5.5	2.6	10.7	0.7	1.2
K/S	15.8	20.1	15.8	9.5	21.6	0.0	8.6
K/Zn	897.3	23.6	885.7	481.7	1298.2	0.0	0.9
Mg/P	2.1	17.6	2.1	1.4	3.2	0.7	36.8
Mg/Ca	0.2	18.0	0.2	0.2	0.3	0.3	4987.7
Mg/Zn	158.5	29.7	154.7	81.4	264.6	0.4	34.7
S/Ca	0.1	18.7	0.1	0.1	0.1	0.9	92.4
S/Zn	58.7	29.3	54.3	28.1	93.6	0.3	1.6
Zn/Ca	0.002	34.1	0.001	0.001	0.003	0.6	26.3

Mini: Minimum

Maxi: Maximum

Skew: Skewness

K/Mg, K/N, K/S, K/Zn, Mg/Ca, Mg/P, Mg/Zn, N/Ca, N/Mg, N/S, P/K, P/N, P/S, P/Zn, S/Ca, S/Zn and Zn/Ca.

3.3. Nutrients balance of groundnut

The DRIS indices (figure 1) have been generated from the selected DRIS norms. The first limiting nutrients are the K, P followed-up by Mg, S and N. The Ca and the Zn have a positive indice and they may be in adequate level in groundnut leaf for high production.

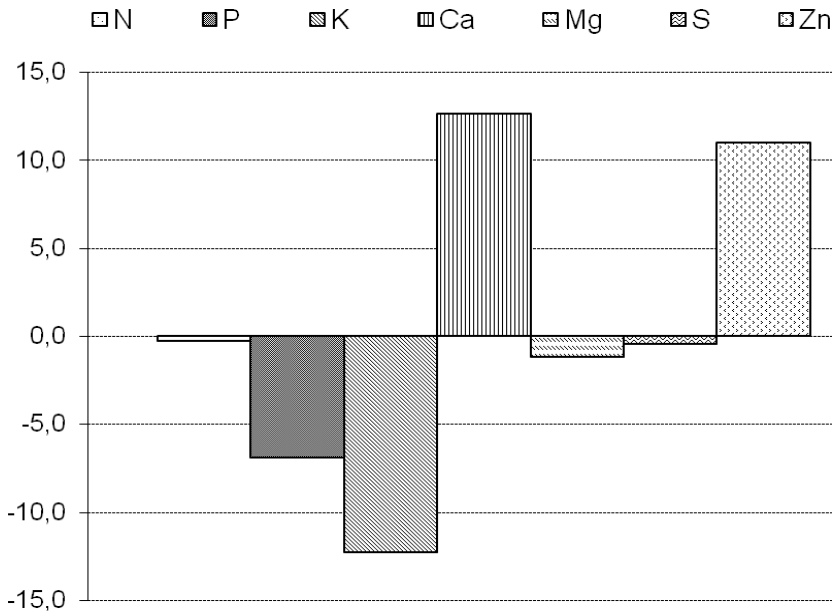


Figure 1. DRIS Indices for groundnut in Upper Oueme

4. Discussion

4.1. Reliability of the established DRIS norms

The DRIS model for groundnut, developed in this study, is a diagnostic tool that may be used to predict if insufficiencies or imbalances in N, P, K, Ca, Mg, S and Zn supplies are occurring in groundnut crops in Benin and indeed elsewhere in the North of the country. Admittedly, the database used for model development was relatively small. However, the DRIS norms for the two nutrient ratios of known physiological and diagnostic importance, namely N/S (11.2) and K/N (0.7), had norm values within the expected narrow ranges for higher plants, i.e. 11–13 for N/S, 0.6–0.9 for K/N (Elwali and Gascho 1984; Meldal-Johnsen and Sumner 1980; Stevens and Watson 1986; Amundson and Koehler 1987; Jones *et al.* 1990; Kelling and Matocha 1990; Dampney 1992; Marschner 1995), thus giving credibility both to the database and to the DRIS model. Nitrogen and S are vital constituents of sulphur-containing amino acids and need to be present in quite specific proportions if the requisite proteins and protein containing structures are to be synthesized by plants (Marschner 1995). Equally, K is known to have a key role in N uptake and translocation (Minotti *et al.* 1968; Cushnahan *et al.* 1995), and therefore both N and K need to be present in quite specific proportions whether N accumulation and subsequent assimilation into proteins is to take place at optimal rates. Most of the selected ratio (16 out of 18) has a coefficient of variation less than 30%. That means probably the nutrients needed to be kept in such balance within groundnut tissue if grain production is to be sustained and optimized. Data from future field and surveys experiments may subsequently be used to enlarge the model database and allow the refinement of DRIS parameters and hopefully an expansion of diagnostic scope to include other micronutrients. As it stands, though, this preliminary DRIS model for groundnut is one of the best diagnostic tools currently available for simultaneously evaluating the N, P, K, Ca, Mg, S and Zn status of groundnut crops in Benin.

4.2. Nutrients status assessment

The more negative is a nutrient index, the more limiting is the element. The balance of a nutrient with other elements is better when the nutrient

indices approaches zero. The N is the only element that seems to be in balance with the other elements. This could be explained by the nitrogen symbiotic fixation of the crop which satisfies its needs for high production (Dagbenonbakin, 2005). All nutrients indices can be arranged between values -15 and +15 indicate a good nutrient balance Kelling and Shulte. (1986). As a result, the nutrients norms selected needed to be in such relation for high yielding. The present DRIS model could be important as a tool for refining the nutrient needs of groundnut crops not only in Benin but in West Africa as well.

References

Agbangba C. E., Sossa E. L., Dagbenonbakin G.D., Diatta S., Akpo L.E., 2011a : DRIS Model parametrization to access pineapple variety ‘‘Smoth cayenne’’ nutrient status in Benin (West Africa). *Journal of Asian Scientific Research*, **1**(5) pp254-264.

Agbangba C. E., Olodo G.P., Dagbenonbakin D. G., Akpo L.E., Sokpon N., 2011b : Preliminary DRIS Model parametrization to access pineapple variety ‘Perola’ nutrient status in Benin (West Africa). *African Journal of Agricultural Research*, **6**(27), 5841-5847.

Agbangba C. E.; Dagbenonbakin G. D ; Kindomihou V., 2010a : Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) mineral nutrition assessment by CVM and DRIS methods in Benin. Acte de l’atelier scientifique de l’Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), 7-9 Décembre 2010. Centre Anouali, (Rep. Bénin).

Agbangba C.E., Dagbenonbakin D.G., Kindomihou V., 2010b : Etablissement des normes du système intégré de diagnostic et de recommandation de la culture d’ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) variété Pain de sucre en zone subéquatoriale du Bénin. *Annales de l’Université de Parakou, Série Sciences Naturelles et Agronomie*, **1**: 51-69.

Agbangba C.E., 2008 : Contribution à la formulation d’engrais spécifique pour la culture de

l'ananas par le diagnostic foliaire dans la commune d'Allada. Thèse d'ingénieur agronome, Université de Parakou, Parakou, p. 159.

Amundson R.L., Koehler F.E., 1987: Utilization of DRIS for diagnosis of nutrient deficiencies in winter wheat. *Agron J.*, **79**:472–476.

Bailey J.S., 1989: Potassium-sparing effect of calcium in perennial ryegrass. *J Plant Nutr*, **12**:1019–1027

Bailey J.S., 1991: A re-examination of phosphorus-lime interactions in perennial ryegrass. *Plant Soil*, **135**:185–196. doi:10.1007/BF00010906

Bailey J.S., 1993: Sustainable fertiliser use. *Proc Fert Soc* 343

Bailey J.S, Beattie J.A.M., Kilpatrick D.J., 1997a: The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I. Model establishment. *Plant Soil*, **197**:127–135. doi:10.1023/A: 1004236521744

Bailey J.S., Cushnahan A, Beattie J.A.M., 1997b: The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: II. Model Calibration and validation. *Plant Soil*, **197**:137–147. doi:10.1023/A:1004288505814

Beaufils, E.R., 1973: *Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)*. University of Natal, Pietermaritzburg, S. Africa.

Beaufils, E. R. and Sumner M. E., 1977: Effect of time sampling on the diagnosis of the N, P, K, Ca and Mg requirement of sugarcane by the DRIS approach. *Proc. S. Afr. Sugar. Tech.Assoc.*, **51**: 62-67.

Bailey J.S., Dils R.A., Foy R.H., Patterson D., 2000: The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: III. Practical Applications. *Plant Soil*, **222**:255–262. doi:10.1023/A: 1004827206618

Cushnahan A, Bailey J.S, Gordon F.J., 1995: Some effects of sodium application on the yield and chemical composition of pasture grass under

differing conditions of potassium and moisture supply. *Plant Soil*, **176**:117–127. doi:10.1007/ BF00017682

Dagbénonbakin D.G., Agbangba C.E., Kindomihou V., 2010: Comparaison du système intégré de diagnostic et de recommandation et de la méthode de la valeur critique pour la détermination du statut nutritionnel de l'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr) variété Cayenne Lisse au Bénin. *Int. J. Ch. Biol. Sci.*, **4** (5): 1550-1563.

Dagbénonbakin GD, Agbangba CE, Bognonkpe JP, Goldbach H. 2011: DRIS model parameterization to assess yam (*Dioscorea rotundata*) mineral nutrition in Benin (West Africa). *European Journal of Scientific Research*, **49**(1): 142-151.

Dagbénonbakin GD, Agbangba CE, Glèlè Kakaï R, Goldbach H., 2010: Preliminary diagnosis of the nutrient status of cotton (*Gossypium hirsutum* L) in Benin (West Africa). *Bulletin de la Recherche Agricole du Bénin*, **67**: 32-44.

Dagbénonbakin, G. D., 2005: Productivity and water use efficiency of important crops in the upper Oueme Catchment: influence of nutrient limitations, nutrient balances and soil fertility. Ph-D Thesis, Bonn, Germany. ISBN 3-937941-05-3

Dampney P.M.R., 1992: The effect of timing and rate of potash application on the yield and herbage composition of grass grown for silage. *Grass Forage Sci.*, **47**:280–289. doi:10.1111/j.1365-2494.1992.tb02272.x

Singh D.B.J.S., 2005: Diagnosis and recommendation integrated system for monitoring nutrient status of mango trees in submountainous area of

A PRELIMINARY DRIS MODEL PARAMETERS FOR MINERAL NUTRITION ASSESSMENT OF
GROUNDNUT (*ARACHIS HYPOGAEA*) IN BENIN (WEST AFRICA)

Elwali A.M.O, Gascho G.J., 1984: Soil testing, foliar analysis and DRIS as guides for sugarcane fertilization. *Agron J.*, **76**: 466–470.

Hallmark, W. B.; deMooy C. J. and John Pesek., 1987: Comparison of two DRIS methods for diagnosing nutrient deficiencies. *J. Fert. Issues* **4** (4): 151-158.

Jones J.B., Eck H.V., Voss R., 1990: Plant analysis as an aid in fertilising corn and grain sorghum. In: Westerman RL (ed) *Soil testing and plant analysis*. 3rd edn. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp 521–547

Katyal J.C., Randhawa N.S., 1985: Micronutrients. *FAO Fertiliser and Plant Nutrition Bulletin* **7**

Kelling K.A., Matocha J.E., 1990: Plant analysis as an aid in fertilising forage crops. In: Westerman RL (ed) *Soil testing and plant analysis*. 3rd edn. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp 603–643

Kelling, K. A., Shulte, E. E., 1986: Review DRIS as part of a routine plant analysis program. *J. Fert. Issues*, **3**(3), 107-112.

Marschner H., 1995: Mineral nutrition of higher plants. Academic, London, p 889. Meldal-Johnson A, Sumner M.E., 1980: Foliar diagnostic norms for potatoes. *J Plant Nutr*, **2**:569–576

Marschner, H., 1997: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego

Meldal-Johnson A., Sumner M.E., 1980: Foliar diagnostic norms for potatoes. *J Plant Nutr*, **2**:569–576

Minotti P.L., Craig Williams D., Jackson W.A., 1968: Nitrate uptake and reduction as affected by calcium and potassium. *Soil Sci Soc Am Proc*, **32**:692–698

Pursglove J.N. 1995: Tropical crops. Monocotyledons, Longman.

Ramakrishna A. & J. S. Bailey & Kirchhof G., 2009: A preliminary diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) model for

diagnosing the nutrient status of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **316**:107–116. DOI 10.1007/s11104-008-9763-5

Stevens R.J., Watson C.J., 1986: The response of grass for silage to sulphur application at 20 sites in Northern Ireland. *J Agric Sci Camb*, **63**:209–219

Tran, V. A. and Boko K. A., 1978: Recueil des méthodes d'analyses des sols. Projet d'Agro-Pédologie Cotonou République Populaire du Bénin.

Tyner, E. H., 1946: The relation of maize yields to leaf nitrogen, phosphorous and potassium content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **11**: 317-323.

Viets, F. G., Nelson C. E. and Crawford, C.L., 1954: The relation of maize yields, leaf composition and fertilizer applied. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, **18**:297-301.

Walkley and Black 1934: In: Tran, V. A. and Boko K. A., 1978: Recueil des méthodes d'analyses des sols. Projet d'Agro-Pédologie Cotonou République Populaire du Bénin.

Walworth J.L., Sumner M.E., 1986: Foliar diagnosis—a review. In: Tinker BP (ed) *Advances in plant nutrition*. vol. III. Elsevier, New York, pp 193–241.

Walworth J.L., Sumner M.E., 1987: The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In: Stewart BA (ed) *Advances in soil science*, **6**: 149–188.

Westfall D.G., Whitney D.A., Brandon D.M., 1990: Plant analysis as an aid in fertilising small grains. In: Westerman R.L. (ed) *Soil testing and plant analysis*. 3rd edn. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp 495–519

Walworth, J.L. and Sumner, M.E., 1987: The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advances in Soil Science*, **6**:149-188.

EVALUATION DES POTENTIALITES PISCICOLES ET SOCIOECONOMIQUES DES RETENUES D'EAU PASTORALES DANS LA COMMUNE DE BANIKOARA (NORD-EST DU BENIN)

I. Toko Imorou¹, J. A. Yabi², M. N. Assogba³, M. Adam Sanni¹, et H. A. Elègbé¹

¹ Département des Sciences et Techniques de Production Animale (STPA), Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou (UP), BENIN

² Département d'Economie et Sociologie Rurale (ESR), Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou (UP), BENIN

³ Département de Production et Santé Animale (PSA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), BENIN

Auteur de correspondance : E-mail : iimorou_toko@hotmail.com; Tél. (229) 95182936 / 96132150

Résumé

L'étude faite d'août à mi-décembre 2010 sur les retenues d'eau de la commune de Banikoara permet d'évaluer la rentabilité de leur exploitation. Les paramètres physico-chimiques sont mesurés. Les potentialités nutritionnelles sont évaluées. Une enquête sur le mode de gestion de ces retenues est faite. L'inventaire des retenues a montré que 54,6% étaient des barrages et 45,5% des surcreusements, toutes gérées par des comités de gestion élus. Ces retenues d'eau étaient de dimensions et de formes variables. La proximité des champs de culture de coton et de maraichage, l'abreuvement des animaux et les usages domestiques rendaient ces retenues potentiellement polluées. La température moyenne dans les retenues d'eau a varié entre $27,2 \pm 0,7$ °C et $29,9 \pm 0,8$ °C. Le pH a oscillé entre $8,4 \pm 0,6$ et $9,3 \pm 0,3$. Les conductibilités moyennes se situaient entre $41,0 \pm 12,7$ et $109,5 \pm 0,7$ µS/cm. Les valeurs de TDS (Total Dissolved solids) étaient significativement différentes ($p < 0,05$). Les transparences moyennes se situaient entre $15,5 \pm 0,7$ cm et $52,5 \pm 17,7$ cm. La faune benthique inventoriée dans les retenues d'eau étudiées était riche en macroinvertébrés qui constituaient une abondante nourriture pour les poissons. Sur le plan socio-économique la pêche était

rentable dans les trois retenues étudiées car le ratio bénéfice-coût était supérieur à 1. Malheureusement, la pêche est souvent pratiquée par des étrangers sous la supervision des comités de gestion. Bien qu'elles soient très productives, les facteurs tels que la sensibilisation des paysans sur les avantages de la pisciculture, l'assistance technique et financière des pêcheurs et des comités de gestion, l'entretien des cuvettes, des digues et déversoirs, la formation des producteurs sur des pratiques piscicoles de base, la non disponibilité au niveau local des alevins, la non intégration de la pisciculture aux autres activités exercées autour des retenues et la gestion des crocodiles dans les retenues d'eau constituent les principales contraintes qui entravent le développement de la pisciculture dans les retenues d'eau étudiées.

Mots clés: Retenue d'eau; valorisation; physico-chimie; rentabilité socio-économique; pisciculture.

Abstract

Pools constructed in Banikoara township (north Benin) have been studied between August and December 2010. The aim of this study is to promote and valorize these pools. Physico-chemical parameters were directly measured in the water of these pools. The nutritional potentialities (macro-invertebrates) were determined in laboratory. An investigation about the way these pools are managed and the profitability of their exploitation was done in this study. This study brought out that the pools in Banikoara township have variable forms and dimensions. Actually, 54.6% of them are dams and about 45.5% the pool in the study area. We notify that human activities especially farming, market gardening, cow watering and clothes washing pollute and contaminate water preserves in this zone. The mean temperatures in the pools studied varied from 27.2 ± 0.7 °C to 29.9 ± 0.8 °C and pH from 8.4 ± 0.6 to 9.3 ± 0.3 . Mean conductivity are between 41.0 ± 12.7 and 109.5 ± 0.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and then, TDS values are significantly different ($p < 0.05$) and mean water transparencies are between 15.5 ± 0.7 cm and 52.5 ± 17.7 cm. Benthic fauna inventory showed that pools studied are rich in macro-invertebrates which are important in fishes feeding. Socioeconomic valuation show that fishing is quite profitable (benefit-cost rate > 1) in all of the pools

studied. But unfortunately, fishing is made by foreigners who are supervised by local management committees of these pools. At the end of this study, we can notice that the pools constructed in Banikoara township are very productive but remain unprofitable and mismanage by the locale authorities and the management committees. The main reasons of this situation are the maladministration of the management committees and the lack of capacity building of the fishermen and the members of the management committees in fishery and piscicultural practice.

Keywords: Pool; valorization; physicochemical; socioeconomic profitability; pisciculture

Introduction

Les ressources ichtyologiques, de par leur composition en nutriments, jouent un rôle très déterminant dans la fourniture des protéines à haute valeur biologique. En effet, le poisson a une teneur en protéines (17 - 21,6%) équivalente à celle de la viande de bœuf (18,2 - 20,6%) et supérieure à celle des œufs de volaille (11%) et du lait de vache entier (3,8%) (FAO, 1979). Le poisson est relativement moins cher et constitue la principale source de protéines animales de la plupart des pays du tiers monde. Malheureusement, on assiste au Bénin à une baisse de la production halieutique ces dernières décennies. La production nationale de produits halieutiques n'arrive plus à couvrir la demande intérieure (Imorou Toko, 2007). En 2008 par exemple, la production halieutique nationale était estimée à environ 37.494,6 tonnes (y compris la pisciculture) tandis que la demande nationale était supérieure à 90.000 tonnes (Direction des Pêches, 2009). Pour combler ce déficit, le pays recourt à une importation massive de poissons congelés. Face à cette dépendance de plus en plus poussée vis-à-vis de l'extérieur, il semble nécessaire d'augmenter la production halieutique nationale, non seulement par l'aménagement et la gestion rationnelle des cours et plans d'eau naturels du pays, mais surtout par la promotion de l'aquaculture continentale (Imorou Toko, 2007 ; FAO, 2008). En effet, le Bénin possède de grandes potentialités d'aquaculture au nombre desquelles nous pouvons énumérer la diversité des espèces aquacoles disponibles (Chango et Ken, 2006 ; Imorou Toko, 2007) (*Tilapia*, *Clarias*, *Heterotis*,

etc.) de même que la variété des infrastructures et techniques aquacoles utilisées telles que des acadjas, ahlos, whedos, étangs, enclos piscicoles, cages flottantes, etc. (Imorou Toko, 2007). Par ailleurs, la densité du réseau hydrographique du pays a favorisé l'implantation sur l'ensemble du territoire des ouvrages hydrauliques généralement à but pastoral, communément appelés « retenues d'eau » (DGE, 2008 ; Adam Sanni, 2011). Sur les 250 ouvrages hydrauliques recensés et géo référencés, 196 sont des barrages et 54 surcreusements. La majorité de ces ouvrages sont construits dans la partie septentrionale du pays dans le but majeur de retenir l'eau pour divers usages agropastoraux. En effet, pour compenser le déficit en eau observé en saison sèche dans certaines régions du nord et centre du pays, notamment celles à forte tradition d'élevage, les retenues d'eau ont été construites par plusieurs structures privées ou étatiques. L'objectif principal de la création de ces retenues était d'assurer aux populations et aux bétails un approvisionnement permanent en eau. C'est avec le temps que les populations ont constaté la présence des poissons dans ces retenues d'eau et ont commencé à y développer des activités traditionnelles de pêche et le maraîchage autour de ces ouvrages. De nos jours, environs 215 retenues d'eau ont été construites dans le Nord (DGE, 2008) soit 82,7% des retenues d'eau de l'ensemble du pays (Toko, 2008 ; Adam Sanni, 2011). Cependant, la majorité de ces retenues d'eau par manque de suivis ne sont pas fonctionnelles et se comblent d'année en année. La plupart de ces ouvrages sont gérées par des comités de gestion élus localement et en collaboration avec les CeCPA (Centres Communaux de Promotion Agricole).

Dans le contexte actuel de crise alimentaire globale, la valorisation des retenues d'eau du Bénin par la promotion et le développement des productions végétales, animales et halieutiques est devenue une priorité dans les programmes d'action des autorités aussi bien au niveau local que gouvernemental. C'est dans ce cadre que plusieurs projets de développement dont certains sont encore en cours d'exécution dans le Nord du Bénin s'intéressent à l'aménagement et la gestion agropiscicole de ces ouvrages hydrauliques (Adam Sanni, 2011). Malgré les lourds investissements consentis par les divers partenaires, les comités de gestion des retenues d'eau du nord Bénin peinent encore à optimiser leur production piscicole dans ces milieux (Adam Sanni, 2011). Dans le souci

d'assurer un meilleur aménagement de ces écosystèmes aquatiques en des systèmes de production agropiscicole, il s'avère nécessaire d'évaluer les potentialités piscicoles de ces retenues d'eau afin d'identifier les espèces piscicoles pouvant y être potentiellement élevées. C'est ce qui justifie l'étude dont l'objectif principal est de faire un diagnostic des retenues d'eau de la commune de Banikoara, afin de dégager leurs potentialités piscicoles et socioéconomiques, de même que les contraintes de leur valorisation en pisciculture.

Matériels et méthodes

L'étude s'est déroulée d'août à mi-décembre 2010. Les travaux de terrain sont réalisés dans la commune de Banikoara où on rencontre une diversité importante de ces infrastructures. Les travaux de laboratoire de même que le traitement et l'analyse des échantillons et données sont effectués à l'Unité de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou.

Milieu d'étude

La commune de Banikoara est située au nord-ouest du département de l'Alibori. Elle est comprise entre 10°50' et 11°30' de latitude nord et entre 2° et 2°40' de longitude Est. (Figure 1).

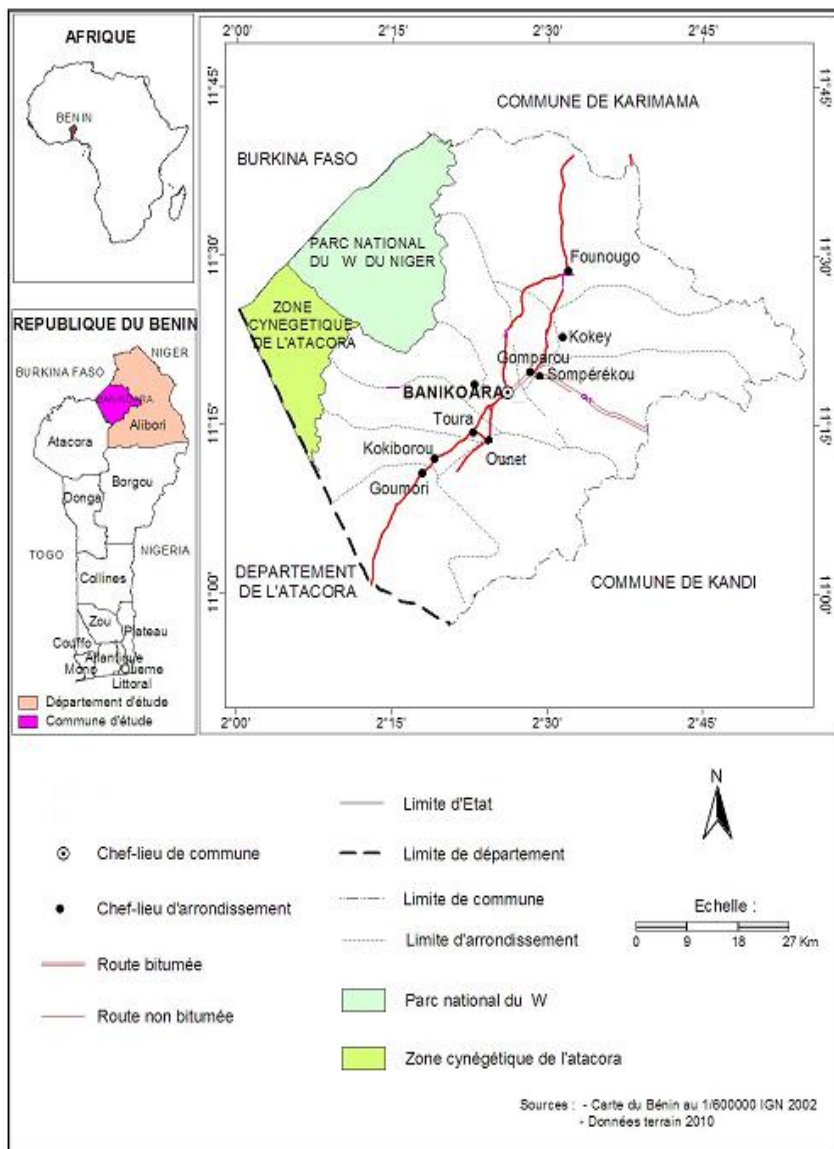


Figure 1: Situation géographique de la commune de Banikoara

D'une superficie de 6.922 km², dont 3.360 km² soit 48,5% sont des terres cultivables (Boko *et al.*, 1995), la commune de Banikoara est peuplée d'environ 152.028 habitants en 2002 (INSAE, 2003). Le climat est de type soudanien évoluant vers le type sahélien avec l'alternance d'une saison pluvieuse s'étendant de mai à octobre et d'une saison sèche s'étendant de novembre à avril (Boko *et al.*, 1995). Selon les données collectées à la station ASECNA à Kandi, la pluviométrie moyenne de 1980 à 2010 est de 981,5 mm avec une moyenne mensuelle minimale de 0,3 mm en décembre, et un maximum de 247,7 mm en août. La température moyenne durant la même période est de 28,2 °C avec une moyenne mensuelle minimale de 16,8 °C en décembre, et un maximum thermique moyenne mensuel de 39,3 °C en avril. La commune de Banikoara est drainée sur ses périphériques Est et Ouest par les rivières Alibori (338 km) et Mékrou (410 km), respectivement. Les bassins versants délimités par ces cours d'eau couvrent respectivement 10.620 km² et 13.600 km². L'agriculture est la principale source de revenu dans la commune de Banikoara. Les principales cultures pratiquées sont les cultures vivrières (sorgho, mil, riz, maïs et niébé), les cultures maraichères (laitue, carotte, tomate, piment et gombo), les racines et tubercules (patate douce et igname) et les cultures industrielles (coton et arachide). Par ailleurs, notons que Banikoara est la plus grande commune productrice de coton. Ainsi, « l'or blanc » représente la principale source de revenu des populations.

Caractéristiques physiques et fonctionnelles des retenues d'eau

Les caractéristiques physiques et fonctionnelles des retenues d'eau de la commune de Banikoara sont obtenues suite à des recherches documentaires effectuées au Centre Régional de Promotion Agricole (CeRPA) des Départements de Borgou-Alibori, au Centre Communal de Promotion Agricole (CeCPA) de Banikoara, à la Direction Générale de l'Eau, à la Direction des Pêches et au Programme d'Appui au Développement Participatif de la Pêche Artisanale (PADPPA). Cependant, l'actualisation de ces informations est faite directement sur le terrain en mesurant les dimensions (avec un penta décimètre de 100 m), la profondeur (avec une tige graduée de 2 m), les coordonnées géographiques (avec un GPS de type GARMIN 60), l'état des digues et

déversoirs, l'état de la cuvette, la végétation et les productions végétales environnantes. Par ailleurs, une enquête exploratoire auprès des populations riveraines a permis de collecter des données relatives à la productivité et au statut, permanent ou temporaire de ces milieux aquatiques.

Qualité physico-chimique des retenues d'eau de Banikoara

Les 3 principales retenues d'eau fonctionnelles de la commune sont choisies en fonction de la permanence de leurs eaux, de leur productivité, de leur accessibilité et du développement actuel des activités agro piscicole autour de ces milieux. En effet, les paramètres de leurs eaux tels que le pH, la température, la conductibilité, les matières en suspension (TDS) et la transparence sont relevés de façon journalière (toutes les 3 heures, à partir de 7h jusqu'à 19h), puis toutes les semaines durant 6 semaines. Le pH est mesuré à l'aide d'un pHmètre électronique de type *TACUSSEL/ P60* muni d'une sonde. Un conductivimètre électronique de marque *HANNA HI 99300*, est utilisé pour les mesures de la température (°C), de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), et des TDS (ppm). La transparence de l'eau (cm) est mesurée à l'aide d'un disque de Secchi de fabrication locale.

Macroinvertébrés benthiques inventoriés dans les retenues d'eau étudiées

Le prélèvement du benthos est fait à l'aide d'un filet Suber qui est une épuisette d'une ouverture de 25 cm pourvu d'un filet de 50 cm de profondeur avec des mailles de 250 μm . Le benthos prélevé à environ 6 m des berges et sous les macrophytes flottantes est lavé abondamment à l'eau du milieu et placé dans des piluliers de 800 ml à laquelle on ajoute du formol dilué à 10% afin de conserver les organismes. Six échantillons de benthos sont prélevés par retenue d'eau étudiée et ramenés au laboratoire pour leur identification. Au laboratoire, les échantillons sont immédiatement étalés sur un tamis de 100 μm de maille afin d'être triés à l'aide du faible grossissement d'une loupe binoculaire de type «*Olympus SZ40*». Pour chaque échantillon, les organismes observés sont placés dans des piluliers contenant de l'alcool à 70% afin d'identifier et de déterminer la diversité taxonomique de l'échantillon.

L'identification des macroinvertébrés (limités à la famille) est faite au moyen de clés de détermination contenues dans les 3 documents d'identification suivants : La Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne (Durand et Lévêque, 1981) ; Aquatic entomology (McCafferty, 1981) ; Invertébrés d'eau douce (Tachet *et al.*, 2000).

Diversité ichtyologique

L'inventaire des différentes espèces de poissons peuplant 18 retenues d'eau de la commune de Banikoara a consisté à l'évaluation, auprès des pêcheurs opérants sur ces différents milieux, de la biodiversité de leur capture. Les différentes espèces observées sont directement déterminées sur le terrain ou à défaut conservées dans du formol à 10% puis identifiées au laboratoire. Les clés d'identification taxonomique des poissons d'eau douce tropicale de Durand et Lévêque (1981) et PAMF et DFS (2004) sont utilisées aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire.

Evaluation socioéconomique des retenues d'eau

L'évaluation socio-économique des retenues d'eau est faite à partir d'un sondage au niveau des 3 principales retenues de la commune de Banikoara. Ce sondage a consisté à interviewer, individuellement et en groupe, au moyen de questionnaire préétabli, les pêcheurs membres des comités de gestion des retenues d'eau. Compte tenu du nombre limité de pêcheurs disponibles dans ces milieux, la taille des échantillons sondés est limitée à 10 pêcheurs par retenue d'eau. Les informations collectées durant notre enquête étaient relatives aux modes d'empoissonnement des retenues (artificiel ou naturel), d'exploitation (technique de production, d'alimentation, de récolte, etc.) et de gestion (présence ou non d'un comité de gestion et autres structures de suivi). Les difficultés entravant le développement de la production piscicole dans ces milieux d'élevage sont également recensées auprès des pêcheurs. La rentabilité économique de l'exploitation de ces retenues est évaluée sur la base des informations relatives à la quantité annuelle de poissons produits (en kg ou en Fcfa) par retenue d'eau et aux charges (achats divers, entretien, empoissonnement, main d'œuvre occasionnelle, taxe, transport divers,

etc.) collectées auprès des pêcheurs. Les paramètres de rentabilité suivants sont calculés :

- **Coût total (C_t)**: $C_t = C_f + C_v$ avec C_f = Coûts fixes (Taxe, amortissement pirogue, filet et autres matériel de production achetés) et C_v = Coûts variables (Frais de transport, entretien, empoissonnement, main d'œuvre, etc.)
- **Produit brut (P_b)** : $P_b = Q_p * P_u$ avec Q_p = Quantité de poisson pêchée et P_u = Prix/kg
- **Marge brute (M_b)** : $M_b = P_b - C_v$
- **Marge nette (M_n)** : $M_n = M_b - C_f$
- **Ratio Bénéfice-coût (r)** : $r = P_b / C_t$ (si $r > 1$, l'exploitation est rentable au cas contraire elle ne l'est pas).

Analyses statistiques

Les tests de la statistique t de Student et d'Analyse de Variance à un critère de classification (ANOVA 1) sont utilisés pour les comparaisons statistiques des différentes moyennes calculées. De même, les tests de Khi deux ont permis de vérifier les liens existant éventuellement entre deux facteurs qualitatifs. Toutes ces analyses sont effectuées aux seuils de significativité de 5% ou 1% à l'aide du logiciel d'analyse statistique SPSS.

Résultats

Caractéristiques physiques et fonctionnelles des retenues d'eau

Au total 21 retenues d'eaux sont inventoriées dans 8 arrondissements sur 9 de la commune de Banikoara (Tableau 1). De toutes ces retenues d'eau, 12 étaient des barrages dont 2 fonctionnelles et 9 étaient des surcreusements dont 7 fonctionnelles. Les barrages sont constitués de

digues en terre compactée et de déversoir en béton ce qui n'était pas le cas au niveau des surcreusements.

Tableau 1: Caractéristiques générales des retenues d'eau inventoriées dans la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin

<i>Arrondissement</i>	<i>Nom de la Retenue</i>	<i>Type d'aménagement</i>	<i>Structure ayant réalisé la retenue</i>	<i>Année de création</i>	<i>Superficie Retenue (m²)</i>
BANIKOARA	Batran	Barrage	PADEB/ DGR	1976	200.000
FOUNOUGO	Bouténan	Barrage	BDBD	1994	900
FOUNOUGO	Koné	Surcreusement	CEAO II	1994	1.200
FOUNOUGO	Founougo centre	Surcreusement	BDBD	1995	1.500
GOMPAROU	Bansio	Surcreusement	BDBD	2002	600
GOMPAROU	Poto	Surcreusement	CEAO II	1998	700
GOUMORI	Goumori	Barrage	CEAO II	1998	1.000
GOUMORI	Gbassa	Barrage	BDBD	1998	10.000
KOKEY	Kokey	Barrage	BDBD	1992	400
KOKEY	Yambérou/ Soumabougou	Barrage	ONG DEDRAS	1997	1.000
KOKIBOROU	Kokiborou bariba	Barrage	CEAO II	1998	2.000
KOKIBOROU	Kokiborou peulh	Surcreusement	BDBD	1991	3.000
OUNET	Ounet centre/ Sangbanti	Barrage	BDBD	1988	50.000
OUNET	Boniki	Barrage	PHPA	2002	<i>np</i>
OUNET	Sombikèrèkou	Barrage	PADEB	2003	40.000
SOMPEREKOU	Sompéroudarou	Surcreusement	CEAO II	1994	<i>np</i>
SOMPEREKOU	Binikoka	Surcreusement	<i>np</i>	<i>np</i>	<i>np</i>
TOURA	Tintinmou	Surcreusement	CEAO II	1998	1.000
TOURA	Bodossa	Barrage	BDBD	1996	10.000
TOURA	Atabénou/Sinabérou	Barrage	DBDB	1988	40.000
TOURA	Kakorokou	Surcreusement	BDBD	1998	70.000

np : information non précisée ; PADEB : Programme d'Appui au Développement de l'Élevage au Bénin ; DGR : Direction du Génie

Rural ; BDBD : Bureau Diocésain du Borgou pour le Développement ; CEAO II : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest; DEDRAS : Organisation non gouvernementale pour le Développement Durable, le Renforcement et l'Auto promotion des Structures Communautaires ; PHPA : Projet d'Hydraulique Pastorale et Agricole.

Seulement 42,8% des retenues d'eau recensés sont encore fonctionnelles (Tableau 2). En général, les cuvettes des retenues d'eau de la commune de Banikoara étaient dans un état de comblement avancé, et plus de 50% de ces retenues tarissaient en saisons sèche. On observait une colonisation de certaines retenues d'eau par des plantes aquatiques comme la jacinthe d'eau, la laitue d'eau, des nénuphars et la lentille d'eau. Les digues et les déversoirs étaient dans la plupart des cas défectueux. 52,4% des retenues d'eau avaient des digues encore solides, et seulement 28,6% avaient un déversoir qui fonctionnait.

Tableau 2 : Caractéristiques fonctionnelles des principales retenues d'eau inventoriées dans la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin

<i>Nom de la retenue d'eau</i>	<i>Etat de la digue</i>	<i>Etat du déversoir</i>	<i>Etat de la cuvette</i>	<i>Encore fonctionnelle</i>
Batran	Passable	Erodé	Envahie en partie par les plantes aquatiques, ne tarie pas	oui
Bouténan	Passable	Passable	Comblement de la cuvette et envahissement par les plantes aquatiques	oui
Koné	Défectueuse	-	Comblement avancé de la cuvette	non
Founougo centre	Détruite par endroit	-	Comblement avancé de la cuvette	non
Bansio	Défectueuse et rompue	-	Comblement avancé et tarie en saison sèche	non
Poto	Rompue	-	Comblement avancé et tarie en saison sèche	non
Goumori	Passable	passable	Comblement très avancé	oui
Gbassa	Défectueuse et rompue	Erodé	Comblement avancé et tarie en saison sèche	oui
Kokey	Inexistant	Inexistant	Ne retient plus d'eau	non
Yambérou/ Soumabougou	Complètement détruite	Passable	Comblement total de la cuvette	non
Kokiborou bariba	Passable	Erodé	Comblement avancé et tarie en saison sèche	non
Kokiborou peulh	Défectueuse	-	Comblement avancé et tarie en saison sèche	non
Ounet centre/ Sangbantî	Bon	Rupture en partie	Comblement avancé et ne tarie pas	oui
Boniki	Passable	Passable	Comblement avancé et tarie	non
Sombikèrèkou	Bon	Bon	En état de comblement et tarie en saison sèche	oui
Sompéroudarou	Défectueuse	-	Comblement avancé et tarie en saison sèche	non
Binikoka	Défectueuse	-	Comblement avancé	non
Tintimou	Passable	-	Comblement avancé	oui
Bodossa	Passable	En partie cédé	Comblement avancé et tarie en saison sèche	non
Atabénou/ Sinabérou	Passable	Passable	Passable, ne tarie pas	oui
Kakorokou	Passable	-	Comblement avancé et tarie en saison sèche	oui

Qualité physico-chimique de l'eau dans les retenues d'eau étudiées

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques de qualité des eaux tels que la température, le pH et la transparence sont restées assez semblables dans les 3 retenues d'eau étudiées (Tableau 3). La conductivité (K) de l'eau de même que les matières en suspension (TDS) étaient significativement différents ($p < 0,05$) dans les retenues d'eau étudiées.

Tableau 3 : Valeurs moyennes de quelques paramètres de qualité physico-chimique de l'eau des retenues d'eau d'Atabénou, de Batran et d'Ounet centre dans la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin

	Température (°C)	pH	K ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Transparence (cm)
Atabénou	30,3±0,7 ^a	8,7±0,2	102,2±4,2 ^a	50,2±3,1 ^a	29,1±1,6 ^a
Batran	29,9±0,7 ^a	8,7±0,7	64,3±4,7 ^b	32,1±2,7 ^b	36,5±9,2 ^a
Ounet centre	29,7±0,9 ^a	8,7±0,2	57,2±7,6 ^b	32,1±2,7 ^b	30,5±2,1 ^a
<i>p</i>	0,87 ^{ns}	0,62 ^{ns}	<0,01	<0,01	0,55 ^{ns}

Pour une même colonne, les valeurs moyennes portant des lettres différentes en exposant sont significativement différentes au seuil de 5% ; ns = non significatif.

Biodiversité des macroinvertébrés benthiques dans les retenues d'eau

Au total 170 individus de macroinvertébrés répartis en 23 taxons sont identifiés dans les retenues d'eau (Tableau 4). L'analyse de la richesse taxonomique a révélé la présence de Mollusques, d'Annelides, de Crustacés, de Tubellariés et des Insectes (Figure 2a). La retenue d'eau de Ounet centre a hébergé 1,26 fois plus de taxons que la retenue d'eau de Batran et 1,6 fois plus que taxons que celle d'Atabénou, tandis que la retenue d'eau de Batran a 1,25 fois plus de taxons que celle d'Atabénou.

La plus grande abondance d'organismes (44,1%) est observée dans la retenue d'eau de Batran.

La faune benthique des retenues d'eau de Banikoara est dominée quantitativement par les insectes (Figure 2a) dont les Diptères ont une abondance totale plus élevée de 17% à celle des Odonates et plus élevée de 27% à celle des Hétéroptères (Figure 2b). Les individus de la famille des Calopterydae et des Chironomidae sont les plus rencontrés dans les retenues d'eau.

Tableau 4 : Nombre et abondance (en % entre parenthèse) des macroinvertébrés inventoriés dans les retenues d'eau dans la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin

Classes	Ordres	Famille	Retenues d'eau de :			Total
			Atabénou	Batran	Ounet centre	
Annelides	Oligochètes	Tubificidae	2 (4,44)	1 (1,33)	1 (2)	4 (2,35)
		Lumbricidae	1 (2,22)	2 (2,67)	1 (2)	4 (2,35)
Mollusques	Gastéropodes	Bulinidae	1 (2,22)	6 (8)	1 (2)	8 (4,71)
		Physidae	-	-	1 (2)	1 (0,59)
		Limnaeidae	-	6 (8)	1 (2)	7 (4,12)
Crustacés	Isopodes	Cirolanidae	-	1 (1,33)	1 (2)	2 (1,17)
Tubellariés	-	Planariidae	1 (2,22)	2 (4,44)	1 (2)	4 (2,35)
Insectes	Coléoptères	Ditiscidae	-	-	3 (6)	3 (1,76)
		Notéridae	1 (2,22)	1 (1,33)	-	2 (1,17)
	Diptères	Chironomidae	13 (28,89)	28 (37,33)	8 (16)	4 (28,82)
		Culicidae	-	-	3 (6)	3 (1,76)
		Tipulidae	-	2 (4,44)	-	2 (1,17)
		Syrphidae	1 (2,22)	1 (1,33)	1 (2)	3 (1,76)
	Ephéméroptères	Baetidae	4 (8,89)	1 (1,33)	2 (4)	7 (4,12)
		Véléidae	-	5 (6,67)	4 (8)	9 (5,29)
	Hétéroptères	Géridae	2 (4,44)	3 (4)	1 (2)	6 (3,53)
		Corixidae	2 (4,44)	-	6 (12)	8 (4,71)

	Naucoridae	-	-	3 (6)	3 (1,76)
	Pléidae	2 (4,44)	-	-	2 (1,17)
	Notonectidae	-	1 (1,33)	-	1 (0,59)
Tricoptères	Hydropsychidae	-	6 (8)	2 (4)	8 (4,71)
Odonates	Libellulidae	3 (6,67)	-	1 (2)	4 (2,35)
	Caloptérygidae	12 (26,67)	9 (12)	9 (18)	30 (17,65)
	Total	45 (26,47)	75 (44,11)	50 (29,41)	170 (100)

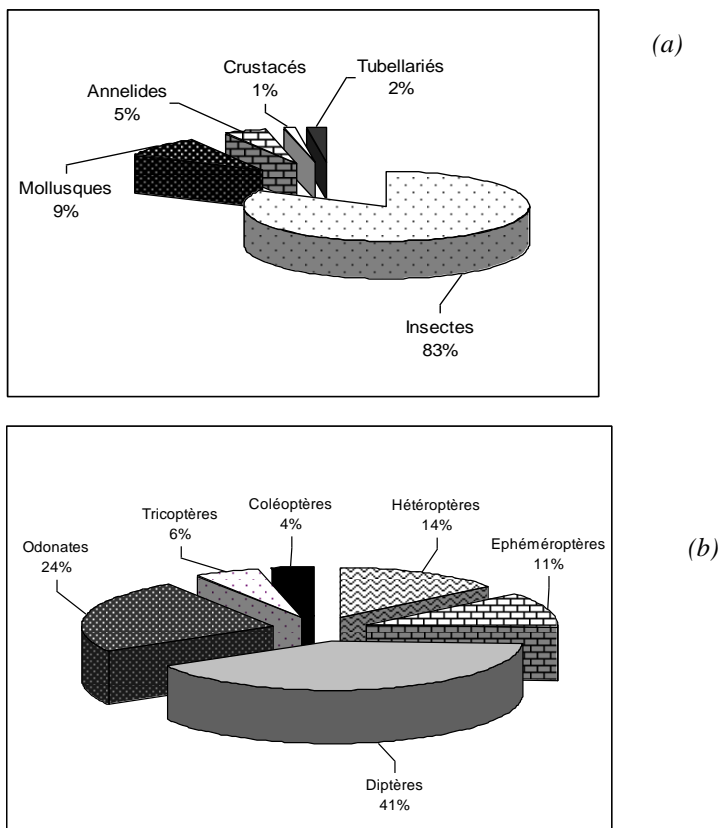


Figure 2 : Abondance relative des principaux groupes faunistiques (a) et de la Classe des Insectes (b)

La diversité ichthyologique des retenues d'eau

Au total 20 espèces de poissons appartenant à 14 genres et 10 familles (Tableau 5) sont échantillonnées et identifiées. Cependant, *Oreochromis niloticus*, *Tilapia guineensis*, *Clarias gariepinus*, *Heterobranchus longifilis* et *Heterotis niloticus* étaient les quelques espèces présentant des potentialités piscicoles remarquables aussi bien sur les plans zootechniques et économique. Le tilapia *O. niloticus* est le plus rencontré

avec une fréquence de 1, tandis que le poisson-chat *C. gariepinus* est observé dans 94,4% des retenues d'eau.

Evaluation de la rentabilité des retenues

Les ratios bénéfice-coût de l'exploitation des trois retenues étaient supérieurs à 1 (Tableau 6). Par conséquent, 100 FCFA investis dans cette activité pourraient rapporter 419 FCFA, 291 FCFA et 378 FCFA respectivement dans les villages d'Atabénou, de Batran et d'Ounet Centre. Les exploitations sont donc rentables avec un tel ratio bénéfice-coût, même si le niveau de rentabilité est variable d'une retenue d'eau à une autre. Ainsi, les retenues d'eau d'Atabénou sont les plus rentables économiquement, suivies de ceux des villages d'Ounet Centre et de Batran.

Tableau 5 : Liste des différentes espèces de poissons identifiées dans les retenues d'eau inventoriées dans la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin

<i>Famille</i>	<i>Espèce</i>	<i>Nom local (langue)</i>
Characidae	<i>Brycinus longipinnis</i> (Günther, 1864)	Koudou (Dendi)
Cyprinidae	<i>Labeo senegalensis</i> (Valenciennes, 1842)	Kpaba (Bariba)
Centropomidae	<i>Lates niloticus</i> (Linnaeus, 1762)	Kpiga (Bariba)
Malapteruridae	<i>Malapterurus electricus</i> (Gmelin, 1789)	Dihou (Bariba)
Claroteidae	<i>Chrysichtys nigrodigitatus</i> (Lacépède, 1803)	Dinko (Dendi)
	<i>Chrysichtys auratus</i> (Risch, 1986)	Orinso-tchiré (Dendi)
Schilbeidae	<i>Schilbe intermedius</i> (Rüpens, 1832)	Tanyégou (Bariba)
Clariidae	<i>Heterobranchus longifilis</i> (Teugels et al, 1990)	Yémora (Bariba)
	<i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822)	Bira (Bariba)
Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i> (Linné, 1758)	Kossia-bi (Dendi)
	<i>Sarotherodon galilaeus</i> (Linné, 1758)	Kossia-koarè (Dendi)
	<i>Tilapia guineensis</i> (Bleeker in Günther, 1862)	Kérou (Bariba)
Protopteridae	<i>Protopterus annectens</i> (Poll, 1961)	Sibiri (Dendi)
Osteoglossidae	<i>Heterotis niloticus</i> (Cuvier, 1829)	Kouala (Dendi)

Tableau 6 : Comparaison des indicateurs économiques entre les retenues d'eau d'Atabénou, de Batran, d'Ounet centre dans la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin

	<i>Atabénou</i>	<i>Batran</i>	<i>Ounet centre</i>
Superficie (m ²)	70.000	200.000	40.000
Produit brut (FCFA/an)	838.900±46.240a	2.330.000±49.950b	757.500±49.950a
Produit brut (FCFA/ m ² /an)	20,97 ±1,48b	11,65±1,01a	10,83 ±0,78a
Marge brute (FCFA/m ² /an)	19,1 ±1,48b	10,08±1,01a	9,75± 0,78a
Marge nette (FCFA/m ² /an)	15,97 ±1,47b	7,65 ±1,01a	7,97± 0,78a
<i>Ratio bénéfice-coût</i>	<i>4,19± 0,28b</i>	<i>2,91 ±0,25a</i>	<i>3,78± 0,27c</i>

Pour un indicateur donné, les valeurs suivies de différentes lettres sur une même ligne sont significativement différentes au seuil de 5%

Discussion

Les paramètres tels que le pH, la température, la conductivité, la transparence (turbidité) et les TDS permettent de préciser la nature physico-chimique des eaux des retenues de la commune de Banikoara. En effet, la température est l'un des facteurs les plus importants qui influence les processus biologiques et métaboliques chez les organismes ectothermes (Timmermans, 1962). Chez les poissons, de nombreuses fonctions physiologiques comme la consommation d'oxygène et de nourriture et la vitesse de réaction de certaines enzymes dépendent de la température de l'eau (Timmermans, 1962 ; Huet, 1962a). Cependant, il est difficile d'établir une comparaison entre les différentes études car la température d'une eau de surface est étroitement liée aux variations de la température ambiante et de la saison (Lamizana *et al.*, 2008) et dépend de nombreux facteurs comme le moment de la journée, de la saison, de l'environnement, de la profondeur, de la distance à la source etc. Dans notre étude, les légères variations de température observées peuvent s'expliquer par la variation de la température ambiante de la zone d'étude qui est due au fort ensoleillement avec des températures supérieures à 25 °C. Néanmoins, ces variations de températures se trouvent dans la limite de tolérance des espèces tropicales qui est de 20 à 30 °C selon Lacroix (2004).

Le pH exprime l'alcalinité ou l'acidité de l'eau et dépend du substrat géologique qu'elle traverse (Huet, 1962a). Toutes les retenues d'eau étudiées ont un pH légèrement basique. En effet, la richesse de ces milieux en éléments organiques peut favoriser le développement du phytoplancton d'où l'augmentation de la basicité de l'eau observée (Bard *et al.*, 1974). Cependant, les valeurs de pH enregistrées se trouvent dans la limite de pH des espèces de la zone tropicale (Huet, 1962b ; Bard *et al.*, 1974 ; Lacroix, 2004). Néanmoins, au-delà du pH 9 dans le milieu, le risque de mortalité est élevé pour de nombreuses espèces surtout les macroinvertébrés (Zongo, 1993) qui constituent de véritables nourritures pour les poissons. Aussi, Coimbra et al. (1996) rapportent qu'une forte augmentation de pH dans l'eau peut être toxique pour la faune aquatique en induisant une augmentation des concentrations en ammoniac toxique.

Au regard de ces constats, les espèces présentes et particulièrement les macroinvertébrés peuvent être menacés.

La conductivité d'un milieu aquatique dépend de la décomposition de la matière organique en provenance des activités de pêche et des apports terricoles en engrais chimiques obtenues (Lacroix, 2004 ; Lamizana, 2008). Dans notre étude, les faibles valeurs de conductivité obtenues peuvent correspondre à une minéralisation peu importante dans les retenues d'eau. Cependant, ces valeurs sont proches des 48 à 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenus par Ifonzuo et Bariweni (2001) à Epie Creek dans le delta du Niger au Nigéria. Elles sont également compatibles aux normes requises pour les activités piscicoles en eau douce.

La transparence permet une évaluation de la zone euphotique intervenant dans la production primaire (Huet, 1962a) et dépend largement de la matière en suspension. Elle joue un rôle important dans la description des variations du milieu tout en englobant la densité phytoplanctonique et de matières en suspension dans l'eau telles que l'argile, les substances humiques, la vase, les colorants, etc. (Lacroix, 2004). Les fortes turbidités réduisent la pénétration de la lumière et l'oxygénation du milieu (Gérard, 1987). Les valeurs enregistrées dans les retenues d'eau de la commune de Banikoara au Nord-Est du Bénin indiquent une forte turbidité par endroit et ceci peut s'expliquer par l'ampleur des activités menées autour de ces retenues telles que l'abreuvement des animaux, la lessive, la baignade, l'agriculture, etc.

La composition faunistique de la macrofaune des retenues d'eau étudiées est conforme à celle des eaux douces africaines (Diomandé et Gourène, 2005). La richesse taxonomique observée est très faible par rapport à celle qu'indiquent les études menées dans la retenue d'eau de Nga au Cameroun (Foto *et al.*, 2010). La majorité des macroinvertébrés collectés dans les retenues d'eau étudiées appartient à la classe des insectes qui constituent d'ailleurs la nourriture privilégiée des poissons. Au Cameroun, l'étude menée par Foto *et al.* (2010) dans la retenue d'eau de Nga, montre aussi la prédominance des insectes. De même, Alhou *et al.* (2009) ont également observé la dominance des insectes dans le fleuve Niger. La présence relativement faible des Ephéméroptères

représentés par les familles des Baetidae et des Véléidae peuvent par ailleurs indiquer une mauvaise qualité des eaux. Ces organismes sont en effet réputés vivre dans des milieux bien oxygénés et de bonne qualité (Demoulin, 1981). La plupart des taxons rencontrés dans les milieux étudiés ne sont représentés que par quelques individus. Cependant, les Chironomidae et les Caloptérygidae représentent plus de la moitié de l'abondance totale. Ceci peut résulter de la pression anthropique exercée sur les retenues d'eau de la commune de Banikoara qui entraîne la disparition des taxons polluosensibles dans ces milieux et par conséquent la prolifération des groupes polluo-tolérants tels que les Chironomidae (Gnohossou, 2006). Par ailleurs, l'abondance relative des organismes dans la retenue d'eau de Batran peut être due à l'importance du couvert végétal observé sur cette retenue comparativement aux autres. En effet, ce facteur peut contribuer à augmenter l'hétérogénéité des habitats ce qui influe sur la composition des communautés benthiques (Downes *et al.* 1993 ; Aguiar et Ferreira, 2002).

La commune de Banikoara est drainée par les rivières Alibori et Mékrou appartenant à de grands bassins fluviaux ce qui justifie sa diversité ichtyologique. Les principales espèces rencontrées sont celles des zones tropicales notamment celles présentes dans les eaux douces béninoises (Lévêque *et al.*, 1990-1992 ; Lévêque et Paugy, 1999 ; PAMF et DFS, 2004).

Les ratios bénéfice-coût des retenues d'eau d'Atabénou, de Batran et d'Ounet centre étant supérieurs à 1, leur exploitation est sans doute rentable. Malgré sa grande superficie, la retenue de Batran, est la moins rentable. Ce phénomène peut être expliqué par la fréquence des pêches dans cette retenue d'eau. En effet dans cette retenue, la pêche a lieu toute l'année, les poissons n'ont pas assez de temps pour se reproduire et croître. Par contre dans les deux autres retenues, la pêche est plus régulée et elle a généralement lieu de décembre à avril. Les résultats sur la rentabilité confirment ceux de Fabre (1994). De plus, ils révèlent que l'activité de gestion des retenues d'eau est plus rentable économiquement que d'autres activités agricoles comme la production cotonnière dont le ratio bénéfice – coût est de 0,84 dans la même commune selon les résultats de Boubakar (2009). En dépit de cette rentabilité économique,

nos travaux permettent de constater que la valorisation des retenues d'eau de la commune de Banikoara est confrontée à un certains nombres de difficultés au nombre desquelles nous pouvons citer le manque de sensibilisation de la population sur les avantages de la pisciculture, le manque d'appui et de suivi des comités de gestion, le manque de pêcheurs spécialisés, l'encombrement des retenues d'eau et le mauvais état des digues et déversoir, la prolifération des plantes aquatiques (jacinthe d'eau, laitue d'eau, lentille d'eau, nénuphar, etc.), la pollution des eaux due aux activités menées autour des retenues (maraichage, lessive, passage des animaux, agriculture), la pollution des eaux par les pesticides utilisés dans les champs riverains et le manque d'un centre d'alevinage. Par conséquent, ces contraintes doivent être levées pour améliorer le niveau de rentabilité économique des différentes retenues d'eau étudiées dans la commune de Banikoara.

Conclusion

Le Nord Bénin dispose d'énormes ressources hydriques pouvant favoriser l'installation d'importantes infrastructures piscicoles nécessaires au développement de la pisciculture. Malgré les multiples retenues d'eau dont dispose la commune de Banikoara (Nord-Est du Bénin), la pisciculture est actuellement une activité de faible importance bien que la qualité de l'eau et l'existence d'un marché de consommation soient favorables au développement de cette activité. Par conséquent, les municipalités, doivent valoriser les retenues d'eau comme un patrimoine important devant être aménagé pour leur développement économique et social.

Références bibliographiques

Adam Sanni M. 2011. Valorisation piscicole des retenues d'eau de la commune de Banikoara : Potentialités et limites. Thèse d'Ingénieur Agronome UP/FA 81p.

Aguiar F.C. & Ferreira M.T. 2002. Relative influence of environmental variables on macroinvertebrates assemblages from an

Iberian basin. *Journal of the North American Benthological Society* 21:43-53.

Alhou B., Micha J.C., Dodo A. & Awaiss A. 2009. Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3 :240-254.

Bard J., De Kimpe P., Lemasson J. & Lessent P. 1974. Manuel de Pisciculture Tropicale. Centre Technique Forestier Tropical, 45 bis Av de la Belle Gabrielle, 94130 Nogent -Sur-Marne, France, 209 p.

Boubakar M. A. 2009. Rentabilité économique et financière des systèmes de production cotonnière dans la commune de Banikoara. Mémoire de Maîtrise en Sciences Economiques, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion (FASEG), Université de Parakou, Bénin, 55 p.

CeRPA (Centre Régionale de Promotion Agricole) Borgou- Alibori. 2009. Rapport annuel d'activité pêche et pisciculture (campagne 2009). Parakou, Bénin, 6p.

Chango F. & Ken H. 2006. Guide pratique pour la pisciculture au Bénin. Cotonou, Bénin, 44 p.

Coimbra C.N., Graça M.A. & Cortes R.M. 1996. The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. *Environmental Pollution*, **94** : 301-307.

Demoulin G. 1981. Ephéméroptères. In Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne, Tome II (Durand, J. -R. & Lévêque, C., eds). ORSTOM: 407-443.

DGE (Direction Générale de l'Eau). 2008. Atlas hydrographique du Bénin. Direction de l'Information sur l'Eau, Service de la banque de données intégrées, Rapport Final : http://eaubenin.bj/docs/Bassins_Versants/Atlas_Hydrographique_Rapport_final, 22 p.

Diomandé D. & Gourène G. 2005. Premières données sur la macrofaune benthique de l'hydrosystème fluvio-lacustre de la Bia (Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature*, **2** : 167-176.

Direction des Pêches. 2009. Service des statistiques. Fiche synthèse de production des plans d'eau du Bénin, *non édité*, Cotonou, Bénin

Downes B. J., Lake P. S & Schreiber E. S. G. 1993. Spatial variation in the distribution of stream invertebrates: implications of patchiness for models of community organization. *Freshwater Biology*, **30** : 119-132.

Durand J.R. & Lévêque C. 1981. Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne (Tome II). Paris, France: ORSTOM, 483 p.

Fabre P. 1994. Note de méthodologie générale sur l'analyse de filière, Document de formation pour la planification agricole n° 35, FAO ESPT.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1979. Report to the Government of Nigeria on experiments in brackish – water fish culture in the Niger Delta Nigeria, 1965-1968. Based on the work of K. K. Nair, FAO/UNDP (TA) Inland fishery biologist (Fish culture). Rep. FAO/UNDP (TA), (2759); 14 p.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2008. Profil de la pêche par pays : la République du Bénin, 43 p.

Foto M. S, Zebaze T. S. H, Nyamsi T. N. L & Njiné T. 2010. Macroinvertébrés Benthiques du cours d'eau Nga: Essai de Caractérisation d'un Référentiel par des Analyses Biologiques. *European Journal of Scientific Research* ; pp. : 43 -106.

Gérard P. 1987. L'oxygène dissous en milieu piscicole. *Le Pêcheur Belge*, pp. : 33-35.

Gnohossou P. 2006. La faune benthique d'une lagune ouest Africaine (le lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse présentée en vue de

l'obtention du Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. 168 p.

Huet M. 1962a. Qualités des eaux à exiger pour le poisson. *Bulletin d'Information de la Fédération Européenne pour la Protection des Eaux (F.E.P.E.)*, 6, 16-24.

Huet M. 1962b. Water quality criteria for fish life. Biological problems in water pollution. Third Seminar, pp. : 160-167

Ifonzuo L.W.A. & Bariweni A.P. 2001. The effect of urban runoff water and human activities on some physic-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger delta. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, **5**: 47-55.

Imorou Toko I. 2007. Amélioration de la production halieutique des trous traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé (sud Bénin) par la promotion de l'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis*. Thèse de doctorat. Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, 127 p.

INSAE (Institut National des Statistiques et Analyses Economiques). 2003. Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat, synthèse et analyse des résultats du RGPH3, DED, INSAE, Cotonou – Bénin.

Lacroix E. 2004. Pisciculture en Zone Tropicale, GFA / GTZ ; 225 p.

Lamizana D.M.B., Kenfack S. & Millogo R.J. 2008. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso : le cas du Missali dans le Kadiogo. Rapport N°16 juin, 6 p.

Lévêque C. & Paugy D. 1999. Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. Editions IRD. Paris. 521 p.

Lévêque C., Paugy D. & Teugels G.G. 1990-1992. Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 1 et 2. Editions ORSTOM. 902 p.

McCafferty P. 1981. Aquatic entomology. The fisherman's and ecologists' Illustrated Guide to Insects and their relatives; Jones and Bartlett publishers Boston, London, 448 p.

PAMF (Programme d'Aménagement des Massifs Forestiers) & DFS (Deutsche Forestservice GmbH). 2004. Guide d'identification de poissons et des crustacés des cours d'eau des forêts classés d'Agoua, des Monts Kouffé et de Wari-Marou. Projet d'Aménagement des Forêts classés d'Agoua, des Monts Kouffé et de Wari-Marou ; Direction Nationale des Ressources Naturelles, Cotonou, Bénin, 147 p.

PDC (Programme de Développement Communal) Banikoara. 2002. Plan de Développement de la commune de Banikoara. SNV / PALO, Banikoara, Bénin, 82 p.

Tachet H., Richoux Ph., Bourneaud M. & Usseglio-Polatera Ph. 2000. Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS éditions, France, 588 p.

Timmermans J.A. 1962. Influence de la température sur la production piscicole en étang. Bulletin français de Pisciculture, 207, 67-71.

Toko W.M. 2008. Etude des potentialités piscicoles des retenues d'eau des communes de Nikki, Sinendé et Gogounou. Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome, 102 p.

Zongo F. 1993. Contribution à l'étude du phytoplancton d'eau douce du Burkina Faso- Cas du barrage n° 3 de Ouagadougou. Thèse 3ème cycle, Université de Ouagadougou, 170p

EVALUATIONS AGRONOMIQUE, ECONOMIQUE ET SOCIALE DE NOUVEAUX MAÏS TOLERANTES A LA SECHERESSE DANS LES AGRO SYSTEMES DU NORD-BENIN

¹Baco M. N. ; ¹Moumouni M. I. ; ²Yallou C. G. ²,Sanni Ogbon. A & ³Tahirou A.

¹Département d'Economie et Sociologie Rurales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, BP : 123 Parakou, Bénin, nasserbaco@yahoo.fr

²Centre de Recherches Agricoles Nord-Ina, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

³International Institute of Tropical Agriculture (IITA) Kano, Nigeria

Résumé

Le maïs, jadis cultivé dans le sud du Bénin est devenu ces dernières décennies une culture importante dans la partie septentrionale du pays. Sa production est largement handicapée par les conditions climatiques de plus en plus changeantes dont l'une des manifestations est la sécheresse. L'objectif de cette étude a été d'évaluer, dans les zones agro-écologiques du Nord Bénin, l'adaptabilité agronomique, la rentabilité économique et l'acceptabilité sociale de plusieurs variétés tolérantes à la sécheresse, mises au point par l'IITA et le CIMMYT.

L'étude a été conduite dans 3 villages avec quarante deux producteurs, pendant trois années consécutives. Trois variétés (extra-précoces, précoces et intermédiaires) provenant des sélectionneurs ont été comparées à des témoins paysans.

Après une analyse comparée des rendements, de la rentabilité et des perceptions paysannes, les meilleures variétés qui se sont dégagées sont 2000 Syn EE-W et TZEE-Y Pop STR C4 (variétés extra-précoces : 75 jours), Bag 97TZECComp.3x4 et TZE Comp.3DT (variétés précoces : 90 jours), IWDC2SYNF2 et DTSRWCO (variétés intermédiaires : 105 jours). Ces variétés peuvent après une affectation de nom et une production plus importante de leurs semences être proposées à une large vulgarisation au Nord-Bénin.

Mots clés : Changement climatique, maïs, Nord Bénin, perceptions paysannes, variétés.

Abstract

Many years ago, maize was mostly cropped in the South of Benin. Due to many structural and economic factors, maize become in the North, these past ten years, not only a food crop, but also a cash crop that provides significant revenue to farmers. Somehow maize production is handicapped by climate changes, mainly the drought. The objective of this study is to evaluate in the North of Benin the adaptability, the profitability (ratio cost/benefit) as well as the social acceptability of material composed of maize varieties and hybrids tolerant to drought.

This study was carried out during three consecutive years in three villages and has involved around forty farmers. The best improved maize varieties/hybrids of different maturities, two extra early, two early and two medium ones were evaluated with two local controls.

Results from yield analysis, profitability and farmers' perceptions indicated that varieties like 2000 Syn EE-W and TZEE-Y Pop STR C4 (extra early: 75 days), Bag 97TZEComp.3x4 and TZE Comp.3DT (early: 90 days), IWDC2SYNF2 and DTSRWC0 (medium: 105 days) were the best material to promote. Efforts should be made to affect local names to these varieties and their seed should be sufficiently produced for release.

Keys-words: climatic change, farmers' perception, maize, north of Benin, varieties.

Introduction

Les rendements du maïs déjà stagnants entre 1100 et 1250 kg/ha au cours de ces deux dernières décennies au Bénin pourraient décroître grandement sous l'effet des perturbations climatiques. En effet, l'ensemble des pays de l'Afrique de l'Ouest et Centrale sont gravement affectés par une variabilité climatique, la plus importante du vingtième siècle, tant dans son intensité que dans sa durée (Hulme, 1996; Morel,

1998; Dai *et al.*, 1998). Cette variabilité se manifeste, par une modification du régime des précipitations, par une diminution des hauteurs annuelles. La baisse des précipitations s'est intensifiée au cours des années 1980 et 1990 (Paturel *et al.*, 1995). Il en résulte une dégradation du milieu qui se traduit dans le paysage par la diminution du rendement des cultures (Gommes, 1998). Les cultures céréalières semblent être les plus affectées par cette variabilité climatique (Mahé, 1995). Le développement des variétés tolérantes à la sécheresse est nécessaire, surtout pour des cultures comme le maïs qui est l'un des principaux aliments de base de la plupart des communautés béninoises. Au Nord du Bénin par exemple, en tant que culture de subsistance et de rente, le maïs vient en deuxième position après l'igname. Selon les statistiques du Ministère de l'agriculture, les superficies emblavées se sont accrues de 583254 ha en 1997 à 900000 ha en 2007.

Plusieurs initiatives ont permis d'élargir la gamme des variétés améliorées de maïs. Au nombre des variétés diffusées, on peut distinguer les extra-précoces, 75 jours, (1a TZ EE SR W), les précoces, 90 jours, (DMR ESR W, DMR ESR Y, DMR ESR W QPM et EV DT 97 STR), les intermédiaires, 105 jours, (FAABA/Obatampa et EV 8766 SR QPM) et des tardifs, 120 jours, (TZB SR W, TZPB SR W). Cependant, les effets néfastes de la sécheresse n'ont pu être contournés faute de variétés tolérantes à ce facteur abiotique dans différentes zones agro-écologiques. Pour remédier à cette situation, le CIMMYT (International Maize and Wheat) improvement Center et l'IITA (International Institute of Tropical Agriculture) ont initié un projet de recherche sur le maïs tolérant à la sécheresse. Plusieurs variétés ont été mises au point par ces deux centres internationaux. Dans la présente étude, quelques unes des variétés tolérantes à la sécheresse (2000 Syn EE-W ; TZEE-Y Pop STR C4; DTSRWC0 ; IWDC2SYNF2 ; Bag 97TZECComp.3x4 ; TZE Comp.3DT) ont été testées dans le Nord Bénin, pour évaluer leur adaptabilité à l'agro-écologie de la zone.

Cette étude a eu pour objectif général d'améliorer la production du maïs au Nord Bénin, où les agrosystèmes sont confrontés aux changements climatiques (Paturel *et al.* 1997). Plus spécifiquement, cette étude permettra : (i) de faire évaluer, par les paysans, les performances

techniques (rendement) des nouvelles variétés de maïs dans plusieurs zones agro-écologiques du Bénin, (ii) d'évaluer économiquement la rentabilité que procurent ces variétés. L'intérêt d'impliquer les paysans dans cette étude se justifie par le fait que les communautés agricoles ont un fonds important de connaissances techniques (Richards, 1979). Or, beaucoup de technologies « améliorées », quoique techniquement valables ne sont pas appropriées aux objectifs et au contexte socio-économique des paysans, ni même dans certains cas aux conditions agroclimatiques (Milleville, 1987). Ainsi, la participation des paysans a permis de recueillir leurs perceptions sur les performances (techniques, sociales et économiques) des variétés testées.

Après une présentation du cadre analytique, ce article expose la méthodologie suivie, les résultats obtenus précisément la production, la valeur économique et les perceptions des variétés testées dans différents agrosystèmes.

Cadre analytique

Deux principales hypothèses ont été testées dans cette étude. La première considère que, les variétés de maïs proposées sont plus performantes en termes de rendement que les variétés largement cultivées par les paysans. La seconde considère que les variétés proposées répondent plus aux critères d'appréciation des paysans et sont plus rentables que les variétés habituellement cultivées.

Les deux hypothèses de cette recherche se fondent sur la comparaison de variétés paysannes aux variétés améliorées. Une telle comparaison nécessite la participation des paysans dans la conduite des expérimentations de terrain. Selon Chambers (1990), si la recherche veut participer efficacement au développement, elle doit essayer d'appréhender les problèmes agricoles du point de vue des paysans et comprendre leurs motivations, leurs contraintes et leurs stratégies. Elle perdra de son efficacité si elle n'est pas prête à exploiter les connaissances des paysans et à coopérer avec eux dans la recherche de solutions.

L'échec de la recherche dans l'élaboration et la diffusion de technologies susceptibles d'être largement adoptées par la petite paysannerie, dotée de peu de ressources dans un environnement moins favorisé a été largement évoqué (Chambers, 1990 ; Jouve et Mercoiret, 1997). Souvent les technologies sont développées sous des conditions favorables et atypiques (Capillon et Sebillotte, 1980). Ainsi, l'erreur dans la recherche classique, a été d'avoir ignoré le système paysan.

Les différents indicateurs scientifiques ne peuvent se substituer aux jugements des paysans. En effet, même si le chercheur comprend suffisamment les systèmes agraires locaux, sa vision de la situation sera souvent différente de celle des paysans (Midingoyi, 1997). Ainsi donc l'évaluation des essais par les paysans eux-mêmes constitue-t-elle une donnée fondamentale. Les innovations que les paysans adoptent ne dépendent pas seulement des facteurs biophysiques (rendements) et économiques (revenus), elles dépendent de plusieurs autres aspects, principalement des aspects sociaux. La présente étude se propose de tenir compte de cette impasse méthodologique et d'intégrer l'appréciation des paysans dans la sélection des variétés de maïs tolérantes à la sécheresse.

Méthodologie

Choix de la zone d'étude et données collectées

L'étude a été menée sur trois campagnes successives (2007, 2008 et 2009) dans trois zones agroécologiques. Dans chaque zone, ce sont les villages qui abritent les essais des équipes de Recherche Développement (RD) de l'Institut National de Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) qui ont été systématiquement retenus pour faciliter le suivi des tests par les techniciens de l'Institut présents dans ces villages. Il s'agit : dans l'Extrême Nord (8000 mm de moyenne pluviométrique annuelle) du village de Tomboutou, dans le Bassin cotonnier (850 mm) du village d'Angaradébou et dans la zone vivrière et cotonnière (950 mm) du village d'Ina (tableau 1).

Le maïs occupe respectivement dans les sites de Tomboutou, d'Angaradébou et d'Ina, des proportions de 16%, 51% et 71%, des superficies totales cultivées. Selon les statistiques agricoles du Ministère

de l'Agriculture, le développement du maïs est à ses débuts à Tomboutou. Le sorgho et le mil étaient jadis, quasi-exclusivement, les principales céréales consommées dans cette partie du Bénin. A Angaradébou, la culture du maïs est en pleine expansion surtout du fait de l'intervention de la recherche qui depuis une dizaine d'années apporte un appui aux groupements semenciers de maïs de la zone. Le Maïs et le coton étaient les deux cultures qui co-assuraient des revenus substantiels aux producteurs d'Angaradébou. A Ina, par contre, 71% des superficies allouées au maïs indiquent que cette culture se dégage de plus en plus nettement comme la première culture de rente de la zone.

Dans chaque village, trois variétés sont testées ; deux sont des variétés tolérantes à la sécheresse et une sert de témoin. La variété considérée comme témoin est celle unanimement reconnue par les paysans comme étant la plus cultivée dans le village. Les variétés extra-précoces (75 jours) ont été testées à Tomboutou et Angaradébou car dans ces deux villages, il tombe moins d'eau et les périodes de pluie sont plus courtes. Les variétés intermédiaires (105 jours) (intermédiaires entre les précoces et les tardifs de 120 jours) sont testées à Angaradébou et à Ina où les pluviométries annuelles sont relativement plus importantes. Les variétés précoces (90 jours) quant-à elles sont testées dans l'ensemble des trois zones agro-écologiques.

Les producteurs ayant abrité les essais ont été choisis en collaboration avec les techniciens de l'INRAB intervenant dans les villages, sur la base du volontariat et par rapport à leurs expériences dans la production de maïs et/ou de leur collaboration avec la recherche. A Tomboutou comme à Ina, 12 paysans ont été impliqués alors qu'à Angaradébou, 18 paysans ont été impliqués soit au total 42 paysans impliqués dans toute l'étude pendant chacune des trois années d'expérimentation. La différence entre les villages en terme nombre de paysans impliqués dans l'étude s'explique par les conditions agro-écologiques et les préférences culturelles des paysans dans chaque village.

Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet où chaque variété constitue un traitement et chaque traitement occupe une parcelle élémentaire de 400 m² séparé par des allées de 2 m de largeur. La dose

d'engrais recommandée par les services de vulgarisation soit 4 sacs (200 Kg) à l'hectare de NPK-SB et 2 sacs (100 Kg) d'urée à l'hectare a été appliquée. La densité de 0,80 m x 0,40 m a été adoptée soit 62500 plants à l'hectare.

Tableau 1 : Variétés maïs testées par village et nombre de paysans impliquée chaque année au Nord Bénin de 2007 à 2009

Cycles	Extra-précoces	Intermédiaires	Précoces
Villages	Tomboutou, Angaradébou,	Angaradébou, Ina	Tomboutou, Angaradébou, Ina
Variétés testées	2000 Syn EE-W TZEE-Y Pop STR C4 TZEE SR-W (témoin)	DTSRWC0 IWDC2SYNF2 QPM (témoin)	Bag 97TZECComp.3x4 TZE Comp.3DT EVDT 97 STR (témoin)
Nombre de paysan/ cycle de maturité	6	6	6
Nombre de paysans impliqués/ village	12	12	18
Nombre total de paysans impliqués	42*		

* un paysan ne teste pas deux cycles différents

Une fiche a été élaborée pour collecter les informations relatives au comportement végétatif des variétés, au rendement grain, aux perceptions et critères paysans de sélection des meilleures variétés, aux données économiques (rendement brut, rendement commercialisable, prix de cession, coût des opérations, coût de la main d'œuvre, coût des intrants) et aux données pluviométriques. Les rendements moyens des trois années d'expérimentation ont été pris en compte dans les analyses.

Techniques d'analyse des données

L'analyse des données a pris en compte les informations fournies par les expérimentations de 2007 à 2009. Les données ont été analysées à l'aide de la statistique descriptive (moyenne, écart-type), les tests statistiques (test de comparaison de moyenne). Nous avons aussi eu recours à

diverses analyses telles que les analyses de comparaison par paire, les classements, les perceptions et appréciations des producteurs expérimentateurs.

La rémunération des différents facteurs de production pour les cultures concernées par une technologie est fonction du facteur limitant dans la zone : terre (marge brute à l'hectare), main d'oeuvre (marge brute par journée de travail), et investissement (marge brut par unité de francs investi) (Murphy et Sprey, 1986). L'évaluation de la rentabilité des variétés améliorées de maïs a été faite à l'aide des outils d'analyse suivant :

- Revenu brut (*RB*) : c'est le revenu que le producteur peut espérer de son activité en vendant toute sa production. Le revenu brut constitue la valeur monétaire de la production physique (*P*) par hectare au prix unitaire du produit (*p*). $RB = P \times p$

- Marge brut (*MB*) : c'est le revenu dégagé par le producteur après avoir déduit du revenu brut, les coûts variables totaux (*CVT*) c'est-à-dire la somme des coûts variables monétaires et des coûts variables d'opportunités. Les coûts variables totaux sont des coûts qui varient en fonction du volume de la production, ce sont les charges relatives aux intrants et à la main d'oeuvre (familiale et salarié). Les coûts variables d'opportunités reflètent principalement la main d'oeuvre familiale non payée. $MB = RB - CVT$.

- Ratio Bénéfice/ coût (*B/C*) : C'est le rapport entre la marge brute et les coûts variables totaux. Il indique l'amplitude des marges brutes par unité de coût variable. Le ratio *B/C* a permis d'évaluer la valorisation du capital (Midingoyi, 1997). $BC = MB/CVT$.

L'analyse des réactions paysannes a été faite à travers des enquêtes individuelles. Sur la base des résultats d'enquêtes d'opinions, nous avons proposé et calculer un indice appelé 'valeur préférentielle moyenne ($VPM = \text{nombre de variétés} - (\text{rang}-1)/\text{nombre de variétés}$). Le rang est obtenu suite à une hiérarchisation des *n* variétés, faite par paysans impliqués dans l'expérimentation. La variété ayant la *VPM* la plus élevée est celle choisie par les paysans.

L'analyse des réactions paysannes a aussi été évaluée à travers la comparaison par paire encore appelé *pairwise comparaison*. Elle a consisté à comparer les variétés deux à deux. Après avoir comparé toutes les variétés entre elles, celle ayant été la plus choisie dans les comparaisons est la plus appréciée par les paysans. Ainsi les résultats de la VPM et de la comparaison par paire sont identiques. Pour des raisons de diversification d'approche, nous avons dans certains cas opté pour l'une des méthodes et dans d'autres cas pour la seconde.

Résultats

Production, valeur économique et perception des variétés testées dans l'extrême nord

Comparaison des rendements obtenus dans le village Tomboutou

La comparaison de moyenne (tableau 2) révèle qu'il n'existe pas de différence significative entre les rendements moyens des trois variétés extra-précoces testées ($F= 0,33$, $p= 0,72$). La différence supposée de rendement entre les trois variétés extra-précoces ne se confirme pas. On en conclut que les trois variétés testées ont les mêmes rendements. En moyenne à Tomboutou, les variétés extra-précoces ont un rendement de 3,6 t/ha.

Tableau 2 : Comparaison des rendements (Kg) de trois variétés de maïs extra-précoces à Tomboutou

Paramètres	2000 Syn EE-W	TZEE-Y Pop STR C4	TZEE SR- W (témoin)	Total
Moyenne (Kg/ha)	3607	3710	3630	3649
Ecart-type	241	233	215	221
Anova	$F= 0,33$; $ddl = 17$; $p= 0,72$			

La comparaison des rendements moyens entre les trois variétés précoces ne révèle non plus de différence significative (tableau 3). Même le

témoin paysan (EVDT 97 STR) ne se différencie pas du point de vue du rendement, des deux nouvelles variétés proposées.

Tableau 3 : Comparaison de rendement moyen (Kg) de trois variétés de maïs précoces à Tomboutou

Paramètre	Bag 97TZEComp.3x4	TZE Comp.3DT	EVDT 97 STR	Total
Moyenne (Kg/ha)	3433	3373	3547	3451
Ecart- type	162	130	133	153
Anova	F=2,28 ; ddl = 17 ; p= 0,14			

En confrontant les résultats obtenus sur les variétés précoces et ceux obtenus avec les variétés extra-précoces, il apparaît que les rendements moyens obtenus sur les deux cycles de variétés sont quasi identiques et sont environ de 3,4 t/ha.

Rentabilité du maïs en fonction du cycle à Tomboutou

Les coûts des facteurs de production et des opérations agricoles nécessaires pour produire un hectare de maïs sont fournis dans le tableau 4. La fertilisation représente le coût de production le plus élevé ; elle avoisine 36% du total des charges de production.

Tableau 4 : charges de production d'un hectare de maïs

<i>Rubrique</i>	<i>Quantité (- /ha)</i>	<i>Prix unitaire (Fcfa/Kg)</i>	<i>Montant (Fcfa/ha)</i>
Semences de base	20 kg	300	6000
Engrais	6 sacs	12500	75000
Herbicides (Primagram)	4 l	5000	20000
Labour (tracteur)	1	30000	30000
Billonnage (attelage)	2 jours	1500	3000
Semis	6 hj	1500	9000
Sarclage 1	10 hj	1200	12000
Application d'engrais de fond	3 hj	1000	3000
Application d'engrais d'entretien	4 hj	1000	4000
Sarclo-buttage	3 hj	2000	6000
Récolte épis déspathés	15 hj	1000	15000
Transport	8 hj	1500	12000
Egrenage	8 hj	1000	8000
Ensachage et couture	100	30	3000
Total des charges= A			206000

Le prix de vente du maïs varie en fonction de la période de l'année et du lieu des transactions. Dans le cadre de cette étude, nous avons considéré le prix moyen qui est de 175 fcfa par kilogramme au cours de la campagne 2009-2010. La marge bénéficiaire tirée des variétés extra-précoces à Tomboutou, est supérieure à celle générée par les variétés précoces, soit 25 000 FCFA de différence (tableau 5). Les valeurs des ratios bénéfice coût indiquent que pour 1 franc, investis sur les variétés précoces, le paysans retire 1,1 franc supplémentaire, alors que les variétés extra-précoces, le gain supplémentaire est de 1,2.

Tableau 5: produits et marge brutes générés de la production des maïs précoces et extra-précoces à Tomboutou

<i>Paramètres</i>	<i>Quantité (Kg/ha)</i>	<i>Prix unitaire (Fcfa/Kg)</i>	<i>Montant (Fcfa/ha)</i>
Produit brut variété précoce	3451	175	603925
Produit brut variété extra-précoce	3649	175	638575
Contrat de parage (Tiges, spathes et rafles de maïs)			10000
Total des produits bruts (variété précoce)			613925
Total des produits bruts (variété extra-précoce)			648575
Marge Brute variété précoce			432925
Marge Brute variété extra-précoce			457575
Ratio Bénéfice coût : variété précoce			2,1
Ratio Bénéfice coût : variété extra-précoce			2,2

Préférence variétale paysanne au sein des variétés extra-précoces

S'appuyant sur la valeur de la VPM, et en considérant les variétés extra-précoces testées à Tomboutou, les deux variétés améliorées sont plus appréciées par les populations que la variété témoin (tableau 6)

Tableau 6 : Valeur préférentielle moyenne des variétés extra-précoces de maïs à Tomboutou

Paysans (P)	Variétés		
	2000 Syn EE- W	TZEE SRW (témoin)	TZEE6y pop STR C4
P1	2,67	2,33	3
P2	2,67	2,33	3
P3	2,67	2,33	3
P4	2,33	2,67	3
P5	2,67	2,33	3
P6	3	2,33	2,67
Valeur préférentielle moyenne = Nbre Variété-(rang-1) / Nbre Variété Rang	2,67	2,39	2,95
Principaux critères	Le rendement et la couleur		

Avec les valeurs préférentielles moyennes de : 3 ; 2,67 et 2,33 ; les variétés précoces EVDT 97 STR (témoin), Bag 97TZEComp.3x4 et TZE Comp.3DT constituent respectivement dans l'ordre décroissant les préférences des producteurs. Les critères de choix sont ici influencés par l'envie d'avoir de nouvelles variétés de maïs et le rendement.

Production, valeur économique et perception des variétés testées dans la zone vivrière et cotonnière

Production, valeur économique et perception des variétés intermédiaires à Ina

L'analyse de variance (tableau 7) indique qu'il n'existe pas de différence significative entre les rendements moyens des trois variétés intermédiaires testées au seuil de 5%. La différence supposée de rendement entre les trois variétés intermédiaires ne se confirme pas.

Tableau 7 : Comparaison de rendement moyen de trois variétés de maïs intermédiaires à Ina

Paramètres	DTSRWC0	IWDC2SYNF2	QPM (témoin)	Total
Moyenne (Kg/ha)	2756	2993	3191	2980
Ecart-type	409	202	361	365
Anova	F= 2,52, ; ddl = 17 ; p= 0,11			

En cherchant à voir les répercussions de la différence de rendement sur la rentabilité des trois variétés, il ressort que le témoin QPM est celle qui offre la meilleure opportunité financière, soit une différence pouvant atteindre 76125 Fcfa/ha comparée à DTSRWC0(tableau 8).

Tableau 8 : Produits et marges brutes générés de trois variétés de maïs intermédiaires à Ina

Variétés	DTSRWC0	IWDC2SYNF2	QPM (témoin)
Rendement (Kg/ha)	2756	2993	3191
Prix de vente (Fcfa/Kg)		175	
Revenu brut (Fcfa/ha)	482300	523775	558425
Total des charges (Fcfa/ha)		181000	
Marge brute (Fcfa/Kg)	301300	342775	377425
Ratio Bénéfice coût	1,66	1,89	2,08

La marge brute obtenue avec la variété témoin (QPM) est supérieure à celles obtenues avec les variétés améliorées. Les ratios Bénéfices coûts des trois variétés sont supérieurs à 1. Cela suppose que pour 1 F supplémentaire investi pour la production des trois variétés, le paysan peut espérer récupérer ce franc plus respectivement 0,66 ; 0,89 ; 1,08 franc supplémentaires respectivement pour les variétés DTSRWC0, IWDC2SYNF2, QPM.

La comparaison par paire révèle que c'est la variété IWDC2SYNF2 qui est plus appréciée par les paysans (tableau 9). Elle est suivie de la variété témoin. Ce choix des paysans s'appuie sur le rendement et sur la grosseur des gains des variétés.

Tableau 9 : Comparaison par paire des variétés de maïs à cycle intermédiaire

Paramètres	QPM (témoin)	IWDC2SYNF2
DTSRWC0	QPM	QPM
IWDC2SYNF2	IWDC2SYNF2	
QPM (témoin)		

En considérant les trois années d'expérimentation, on se rend compte que de 2007 à 2009, les rendements se sont améliorés (figure 1). Cette amélioration peut s'expliquer par une maîtrise progressive des techniques de production des variétés tolérantes à la sécheresse et/ou par une bonne adaptation des variétés aux conditions locales au fur et à mesure de leur production.

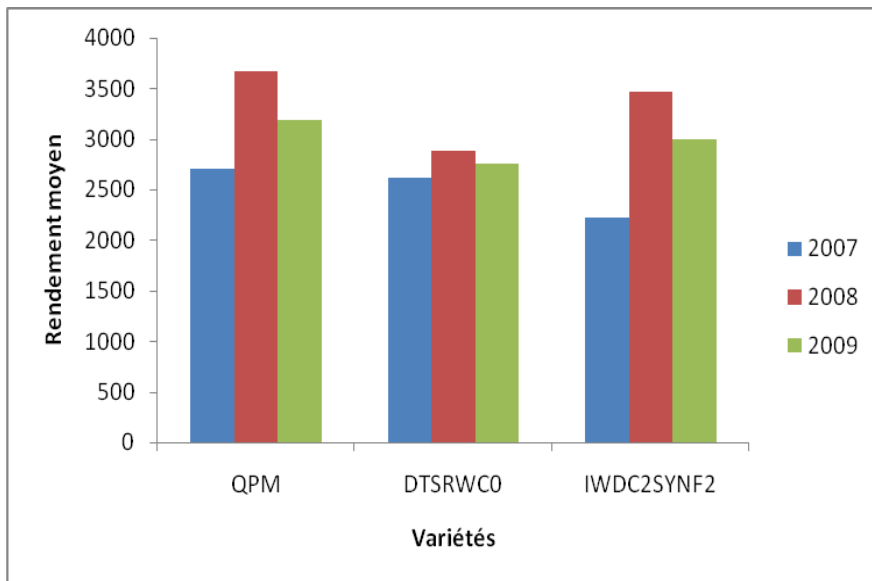


Figure 1 : Evolution des rendements moyens (Kg/ha) des variétés intermédiaires de maïs testées à Ina

Production, valeur économique et perception des variétés précoces à Ina

La comparaison des rendements moyens entre les trois variétés précoces indique également une différence significative entre les rendements de ces trois variétés (tableau 10). En considérant les comparaisons deux-à-deux, la variété Bag 97TZEComp.3x4 a un rendement nettement différent de TZE Comp.3DT et EVDT 97 STR (témoin). Par contre il n'existe pas de différence significative entre les rendements moyens du

témoin (EVDT 97 STR) et de la deuxième variété améliorée (TZE Comp.3DT).

Tableau 10 : Comparaison de rendement moyen de trois variétés de maïs précoces à Ina

Paramètre	Bag 97TZEComp.3x4	TZE Comp.3DT	EVDT 97 STR (témoin)	Total
Moyenne (Kg/ha)	1478	1971	2146	1865
Ecart-type	277	479	469	489
Anova	F=4,11 ; ddl = 17 ; p=0,04			

En cherchant à voir les répercussions de la différence de rendement sur la rentabilité des trois variétés, il ressort que le témoin EVDT 97 STR et TZE Comp.3DT sont celles qui offrent les meilleures opportunités financières (tableau 11).

Tableau 11 : Produits et marge brutes générés de trois variétés précoces de maïs à Ina

Variétés	Bag 97TZEComp.3x4	TZE Comp.3DT	EVDT 97 STR (témoin)
Rendement (Kg/ha)	1478	1971	2146
Prix de vente (Fcfa/Kg)		175	
Revenu brut (Fcfa/ha)	258650	344925	375550
Total charges (Fcfa/ha)		181000	
Marge brute (Fcfa/ha)	77650	163925	194550
Ratio Bénéfice coût	0,43	0,91	1,07

La marge brute obtenue avec la variété témoin (EVDT 97 STR) est supérieure à celle obtenue avec les variétés améliorées. Seul le ratio

Bénéfice coût d'EVDT 97 STR est supérieur à 1. Cela suppose que pour 1 F supplémentaire investi pour la production de cette variété, le paysan peut espérer récupérer ce franc puis 0,07 F. Au point de vu financier la variété EVDT 97 STR est celle qui est la plus recommandable pour l'écologie d'Ina.

En soumettant les trois variétés précoces au choix des paysans d'Ina, il ressort que le témoin EVDT 97 STR et la variété améliorée TZE Comp.3DT sont celles choisies par les producteurs soit respectivement 67% et 33% des choix. Le choix des paysans s'appuie surtout sur le rendement et sur la grosseur des épis.

Production, valeur économique et perception des variétés testées dans le bassin cotonnier

Comparaison des rendements obtenus dans le village d'Angaradébou

Les rendements des variétés extra-précoces sont dans un premier temps présentés, puis les résultats des variétés précoces et intermédiaires. En se référant au résultat de l'analyse de variance (tableau 12), la valeur de $F=0,55$ avec un valeur de p supérieure à 0,05 signifie qu'il n'existe pas de différence significative entre les rendements moyens des trois variétés extra-précoces testées. L'hypothèse de différence de rendement entre les trois variétés extra-précoces est donc rejetée. On en conclut que les trois variétés testées ont les mêmes rendements. En moyenne à Tomboutou, les variétés extra-précoces ont un rendement de 3273 Kg/ha.

Tableau 12: Comparaison de rendement moyen de trois variétés de maïs extra-précoces à Angaradebou

Paramètres	2000 Syn EE-W	TZEE-Y Pop STR C4	TZEE SR-W (témoin)	Total
Moyenne (Kg/ha)	3535	3097	3188	3273
Ecart-type	919	572	771	746
Anova	F= 0,55; ddl = 17 ; p= 0,59			

La comparaison des rendements moyens entre les trois variétés précoces ne révèle non plus de différence significative (tableau 13). En moyenne, ces variétés précoces donnent 4413 Kg/ha. Même le témoin paysan ne se différencie pas du point de vue du rendement, des deux nouvelles variétés proposées.

Tableau 13 : Comparaison de rendement moyen de trois variétés de maïs précoces à Angaradebou

Paramètre	Bag 97TZEComp.3x4	TZE Comp.3DT	EVDT 97 STR (témoin)	Total
Moyenne (Kg/ha)	4318	4539	4382	4413
Ecart- type	874	1148	1137	1001
Anova	F=0,07 ; ddl = 17 ; p= 0,93			

En considérant les trois années d'expérimentation, on se rend compte que de 2007 à 2009, les rendements se sont améliorées (figure 2). Cette amélioration s'explique par une maîtrise progressive des techniques de production des variétés DTMA.

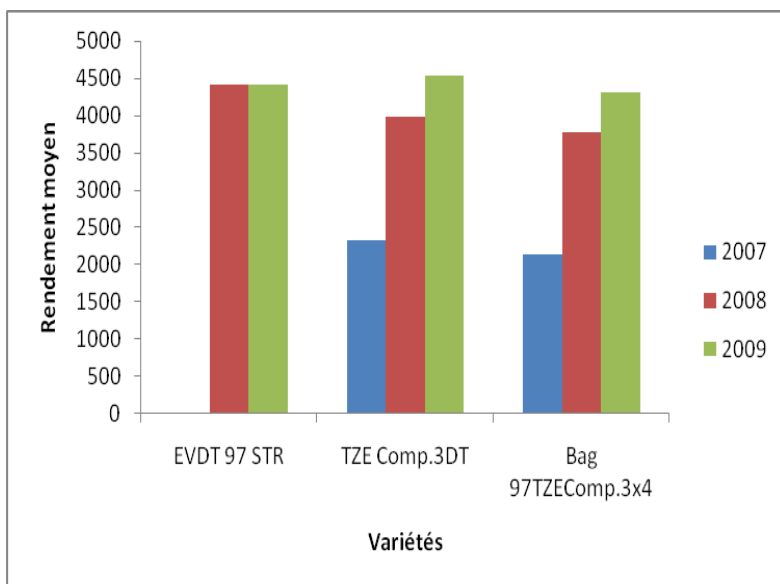


Figure 2: Evolution des rendements moyens (Kg/ha) des précoces testées à Angaradebou

Enfin la comparaison des rendements des variétés intermédiaires révèle aussi qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois variétés testées (tableau 14). Le rendement moyen est de 5080 kg/ha.

Tableau 14 : Comparaison de rendement moyen de trois variétés de maïs intermédiaires à Angaradebou

Paramètre	DTSRWC0	IWDC2SYNF2	QPM (témoin)	Total
Moyenne (Kg/ha)	5073	5013	5152	5080
Ecart- type	934	987	946	900
Anova	F= 0,03; ddl = 17 ; p= 0,97			

En considérant les trois années d'expérimentation, on se rend compte que de 2007 à 2009, les rendements se sont améliorés (figure 3). Cette amélioration peut s'expliquer par une maîtrise progressive des techniques de production des variétés tolérantes à la sécheresse ou par une bonne adaptation des variétés aux conditions locales au fur et à mesure de leur production.

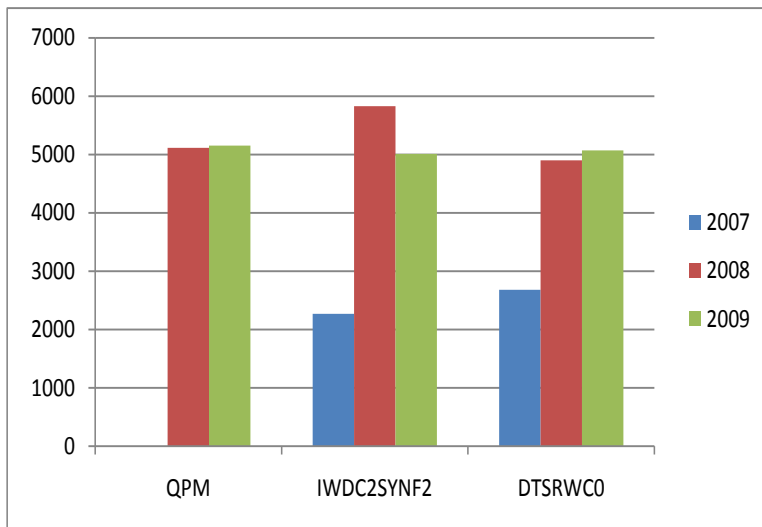


Figure 3 : Evolution des rendements moyens (Kg/ha) en fonction des variétés intermédiaires testées à Angaradebou

En confrontant les résultats obtenus sur les variétés précoces et ceux obtenus avec les variétés extra-précoces et intermédiaires, il apparaît que les rendements moyens obtenus sur les variétés intermédiaires (5t/ha) sont supérieurs à ceux enregistrés sur les variétés précoces (4t/ha) et extra-précoces (3,3t/ha).

Rentabilité des trois cycles de variétés de maïs à Angaradébou

Les variétés testées donnant les mêmes rendements, l'évaluation financière a été faite entre les trois cycles de variétés (tableau 15).

Tableau 15 : Produits et marges brutes (Fcfa/ha) générés de la production des maïs intermédiaires, précoces et extra-précoces à Angaradébou

Rubrique	Quantité (Kg/ha)	Prix unitaire (Fcfa/Kg)	Montant (Fcfa/ha)
Produit brut variété précoce	4413		772275
Produit brut variété intermédiaire	5080		889000
Produit brut variété extra-précoce	1865		326375
Autres recettes (vaine pâture, chaume,...)			10000
Total des produits bruts (variété précoce)			782375
Total des produits bruts (variété intermédiaire)		175	899000
Total des produits bruts (variété extra-précoce)			336375
Charge			181000
Marge Brute variété précoce			601375
Marge Brute variété intermédiaire			718000
Marge Brute variété extra-précoce			155375

La marge bénéficiaire tirée des variétés intermédiaires à Angaradébou, est nettement supérieure à celle générée par les variétés extra-précoces et précoces. Les ratios bénéfiques coûts calculés pour les variétés précoces, intermédiaires et extra-précoces sont respectivement égales à 3,3 ; 3,9 et 0,8. Financièrement, ce sont donc les variétés précoces et surtout intermédiaires qu'il faudra proposer pour les écologies similaires à celles d'Angaradébou. Ces résultats financiers sont confirmés par les choix des paysans. Les valeurs préférentielles moyennes des cycles intermédiaires et précoces sont les élevées,

Discussion et conclusion

La première hypothèse qui considérait que les variétés de maïs proposées sont plus performantes que les variétés largement cultivées par les paysans n'est pas vérifiée. Les rendements des variétés améliorées sont quasi identiques à ceux des témoins. Cette situation pourrait s'expliquer

par le fait que les témoins choisis sont les meilleures variétés de chaque localité et sont des variétés améliorées largement adoptées par les producteurs dans le milieu. Une autre raison qui justifierait cette absence de différences entre les variétés témoins et les nouvelles variétés tolérantes à la sécheresse s'expliquerait par le fait pendant ces trois années d'expérimentation, les saisons pluvieuses ont été quasi normales. En effet les pluviométries moyennes annuelles enregistrées au cours des trois années à Tomboutou, Angaradebou et Ina sont respectivement 850 mm, 900 mm et 1000 mm. Selon Meseka *et al.* (2007), les performances des variétés tolérantes à la sécheresse s'expriment surtout pendant les années de grands stress hydriques. On peut donc supposer qu'en adoptant les nouvelles variétés tolérantes à la sécheresse, les producteurs réaliseront de bonnes récoltes aussi bien pendant les saisons normales, où les pluviométries sont bonnes, que les années sèches caractérisées par des pluviométries insuffisantes.

Malgré ce manque de différence significative sur les rendements, les producteurs parviennent à établir un ordre de préférence entre les variétés testées. Ces choix s'appuient sur des critères de grosseur de grains et sont influencés par la volonté de disposer de nouveaux matériels de production.

La seconde hypothèse qui considère que les variétés proposées, répondent plus aux critères d'appréciation des paysans et sont plus rentables que les variétés habituellement cultivées mérite d'être aussi nuancée. Les producteurs choisissent aussi bien les nouvelles variétés que les variétés considérées comme locales.

Cette recherche a permis de dégager de nouvelles variétés adaptées à l'écologie du Nord Bénin. Les rendements obtenus pour la quasi-totalité de ces variétés ne sont pas différents de ceux des témoins. Pour 1 F supplémentaire investi dans la production des variétés améliorées testées, le paysan peut espérer récupérer ce franc puis un complément qui peut atteindre 0,97 franc. Les appréciations paysannes sur ces variétés sont très favorables.

En considérant les variétés extra-précoces, les variétés 2000 Syn EE-W et TZEE-Y Pop STR C4 sont toutes deux des variétés adaptées à

l'écologie de l'extrême Nord. Les variétés 2000 Syn EE-W et TZEE-Y Pop STR C4 (variétés extra-précoces), Bag 97TZEComp.3x4 et TZE Comp.3DT (variétés précoces), IWDC2SYNF2 et DTSRWC0 (variétés intermédiaires) répondent toutes à l'agro-écologie du bassin cotonnier. Les variétés Bag 97TZEComp.3x4 et TZE Comp.3DT (variétés précoces), IWDC2SYNF2 et DTSRWC0 (variétés intermédiaires) sont celles qui répondent à la zone vivrière et cotonnière du Nord Bénin.

Il reste que des actions de multiplication des semences de ces variétés et de vulgarisation se poursuivent pour permettre leur large diffusion, un début de réponse au changement climatique et un élargissement du pool variétal existant.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), l'International Institute of Tropical Agriculture (IITA), et l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), qui dans le cadre du projet « Drought Tolerant Maize for Africa » (DTMA) ont soutenu matériellement financièrement cette recherche. Nous remercions aussi Dr. Akponikpè Irenikatchè de l'Université de Parakou pour avoir lu ce travail.

Bibliographie

Capillon A., Sebillote M. 1980. Étude des systèmes de production des exploitations agricoles. Une typologie. *Caribbean Seminar on Farming Systems Research Methodology*. Servant J., Pinchinat A. (Éds.), Pointe-à-Pitre (Guadeloupe INRA) : 85-111.

Chambers, R. 1990. *Développement rural : la pauvreté cachée* (eds) Karthala-CTA, Londres, 374 p

Dai, A., Trenberth, K.E., Karl, T.R. 1998. Global variations in droughts and wet spells : 1900-1995. *Geophysical Research Letters*, 25 : 3367-3370.

- Dumont R. 1997. Etude morpho-botanique des ignames *Dioscorea rotundata* et *Dioscorea cayenensis* cultivées au Nord-Bénin. *Agron Trop* ; 32(3): 225-41.
- Gommes R. 1998. Some aspects of climate variability and food security in the sub-Saharan Africa. *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*. Demaree, G., Alexandre, J. et De Dapper, M. (eds.) Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, 655-673.
- Hulme M. 1996. Recent climatic change in the world's drylands. *Geophysical Research Letters*, 23 : 61-64.
- Jouve P., Mercoiret M. R. 1997. La recherche-développement, une démarche pour mettre les recherches sur les systèmes de production au service du développement rural. . *Cahier de la recherche – développement* ; 16 : 8-13.
- Mahé G. 1995. Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Sécheresse*, 1 (6) : 109-117
- Meseka S. K., Menkir A. et Ibrahim A. S. 2007. Genetic analysis of drought tolerance in maize inbred lines: preliminary results. In Badu-Apraku B., Fokorede M. A. B., Lum A. F., Menkir A. Ouedraogo M. (eds), 2007. *Demand-driven technologies for sustainable maize production in West and Central Africa*. Proceeding of the 5 th biennial maize workshop, IITA-Cotonou, Benin, 2005. WECAMAN/IITA, Ibadan, Nigeria: 43-52
- Midingoyi, S., 1997. Concept et méthodes d'évaluation économique des essais et des tests en milieu réel. Cours de formation des équipes RD. Guide de Recherche, n° 2. INRAB/LESR.
- Milleville P. 1987. Recherches sur les pratiques des agriculteurs. Cahiers de la Recherche-Développement, 16 : 3-7
- Morel R. 1998 Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest. *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*. Demarée, G., Alexandre, J. et De Dapper, M. (eds.) Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, 200-211.

Murphy J. et Sprey L. H. 1986. *Introduction to farm surveys*, ILRI publication 33.p.

Paturel J. E., Servat E., Kouame B., Lubes H., Ouedraogo M., Masson J.M. 1997. Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea-Part two: an integrated regional approach, *Journal of Hydrology*, 191: 16-36

Richards P. 1979. Community Environmental Knowledge in African Rural Development, *IDS Bulletin*, 10 (2): 28-36.

GESTION DURABLE DES EAUX DE RUISSELLEMENT EN MILIEU URBAIN TROPICAL : CAS DE LA VILLE DE PARAKOU (REPUBLIQUE DU BENIN)

A. R. Abdoulaye¹, R.Y. M. A. Aboudou¹, L. M. Oyede²

¹Université de Parakou, FLASH ²Université d'Abomey-Calavi,
FAST/UAC awar_1963@yahoo.fr; oyede@yahoo.fr

Résumé

La ville de Parakou se trouve de plus en plus confrontée aux problèmes de ruissellement urbain avec des conséquences parfois dramatiques pour les citadins et leur environnement.

La gestion durable des eaux de ruissellement dans la ville de Parakou a été étudiée sur la base de deux approches méthodologiques (une approche systémique et une approche typologique). L'approche systémique a consisté à l'analyse interne et externe du système du ruissellement urbain à partir des données pluviométriques recueillies à l'ASECNA de Parakou et des données géologiques et topographiques. L'approche typologique a été adoptée dans l'analyse de l'état l'existant, de la population dans la gestion des eaux de ruissellement et dans la formulation des éléments de réponses.

Les résultats obtenus ont montré que : le profil socio-éducatif des populations joue un rôle important dans la gestion des eaux pluviales; la somme moyenne des précipitations des cinq (05) mois les plus pluvieux représente plus de 79% de précipitations annuelles; les quantités d'eau tombées pendant cette période sont plus abondantes et plus érosives; les diverses formation géologiques sont recouvertes par les sols de couches latéritiques dures et résistantes ce qui empêche l'infiltration de l'eau de pluie. Le coefficient d'abattement est pratiquement les mêmes dans les six (06) sous-bassins, ce qui explique l'évolution de l'érosion en fonction de la pente mais aussi en raison de la longueur de chaque sous-bassin versant ; la hauteur maximale annuelle de pluie en 24h varie de façon significative d'une année à une autre, la courbe de la pluviométrie maximale journalière de la ville de Parakou de 1967 à 2011 s'ajuste au

mieux au modèle de Gumbel ($R^2=0,95$) ; le fonctionnement hydraulique des ouvrages des eaux de ruissellement est perturbé par un comblement dû aux dépôts solides, entraînant ainsi la réduction de leur capacité d'accumulation; la gestion des ouvrages est délaissée à la population sans aucune coordination; la population est disposée à participer à la gestion de l'assainissement des eaux de ruissellement; le fonctionnement des éléments techniques du système de gestion des eaux pluviales urbaines est fortement perturbé.

Parmi les éléments de réponse proposés pour une gestion durable des eaux de ruissellement, se trouvent en bonne place, les technologies dites alternatives ou compensatoires.

Mots clés : Ruissellement, eaux pluviales, milieu urbain, Parakou

Abstract

Parakou city is more and more confronted with the problems of urban runoff which sometimes have dramatic consequences on the citizens and their environment.

The sustainable management of runoff in Parakou city has been studied on the basis of two methodology approaches (systemic and typological). The systemic approach consisted in the internal and external analysis of the system of urban runoff basing on the rainfall data obtained at the ASECNA of Parakou and geological and topographical data. The typological approach has been adopted in the analysis of existing state of the population in the management of the runoff and in the formulation of the elements of answer.

The results obtained have showed that: the population's social and educational profile plays an important role in the runoff management; the average sum of the precipitation of the five (05) months rainy mouths represents more than 79% of the annual precipitation; the quantities of water poured down during that period are more abundant and more erosive; the diverse geological formations are covered by soils of hard and resisting laterit layers, which prevent rain water from percolating. The coefficient of reduction is practically the same in the six (06) sub-

basins, which explains the evolution of erosion according to the slope but also because of the length of each sub-basin slope; the annual maximum height of rainfall in 24 hours varies considerably from one year to another; the curve of the maximum daily rainfall of Parakou city from 1967 to 2011 fits well in the model of Gumbel ($R^2=0.95$); the hydraulic functioning of the runoff infrastructure is disturbed by a deposit of solid refuse, implying therefore the reduction of their capacity of accumulation; the management of those infrastructures is let down to the population, without any coordination; the population is disposed to take part in the management of runoff draining; the functioning of the technical elements of the system of the urban runoff management is highly disturbed.

Among the elements of answer proposed, the alternative technologies to runoff draining are in good place.

Key-words: runoff; pluvial water; urban environment; Parakou

1. INTRODUCTION

La gestion de l'eau pluviale constitue aujourd'hui, un des problèmes cruciaux par sa double dimension « ressource » et « risque » des pays en voie de développement. Malgré des discours de plus en plus engagés au niveau national et international, les villes du tiers monde n'arrivent pas à mettre en place un système d'assainissement qui assure le métabolisme urbain lié à l'eau (Chocat, 1997). Mieux gérer le ruissellement, c'est non seulement lutter contre le risque d'inondation, mais aussi contribuer à limiter les rejets polluants en milieu naturel (Brelot, 1994). Ce constat d'échec commun aux pays en voie de développement nous amène à poser la question dans un contexte plus large pour enrichir l'analyse du cas Parakou. L'assainissement pluvial et les rivières, auxquels on n'a accordé que peu de préoccupation, constituent depuis une trentaine d'années l'une des sources de malaises de la ville : inondation, stagnation, érosion et pollution. Le drainage des eaux pluviales urbaines est confronté à deux problèmes : l'insuffisance et le dysfonctionnement du système de gestion des eaux pluviales urbaines (Abdoulaye, 2006). En moyenne, la moitié des voiries de la ville de Parakou est sans équipement de drainage des eaux pluviales et ce taux monte à deux tiers au niveau des voies

tertiaires. Par ailleurs, le réseau d'assainissement pluvial est mal géré par le service d'assainissement qui ne dispose d'aucun document graphique ni de rapport faisant l'état des lieux de l'existant. Dans cet espace urbain dépourvu ou mal équipé de système de drainage des eaux pluviales, le cadre de vie des habitants, et de la ville en général, est très perturbé à chaque événement pluvieux (Abdoulaye, 2007). L'enjeu est plus large car il a de nombreux impacts sur l'économie locale et nationale: dégradation de la voirie non revêtue, accident, gênes de la circulation, etc. De plus, les nombreux cours d'eau qui drainent la ville ne sont pas pris en compte dans la planification et la conception urbaines alors que ces rivières se retrouvent dans les quartiers non structurés, habités par une population pauvre. L'urbanisation anarchique et non contrôlée a abouti à l'occupation légale ou non des lits mineurs. C'est donc dans ce contexte que nous avons engagé cette étude qui a surtout une dimension exploratoire, en vue de bâtir d'une manière globale et intégrée des stratégies de gestion durable des eaux pluviales urbaines à Parakou.

Objectifs de l'étude

L'objectif global de cette étude est d'analyser le système de gestion des eaux de ruissellement urbain existant à Parakou. Spécifiquement, il s'agit de :

- déterminer l'organisation et le fonctionnement de la gestion des eaux pluviales urbaines à Parakou ;
- proposer des stratégies de gestion durable des eaux pluviales urbaines.

Milieu d'étude

L'étude a été menée dans la commune de Parakou (Figure 1) qui est située à 9°20' de l'altitude Nord et 2°35' de longitude Est et s'étend sur une superficie de 441 km² environ. La commune de Parakou est limitée au Nord par la commune de N'dali, au Sud, à l'Est et à l'Ouest par la commune de Tchaourou.

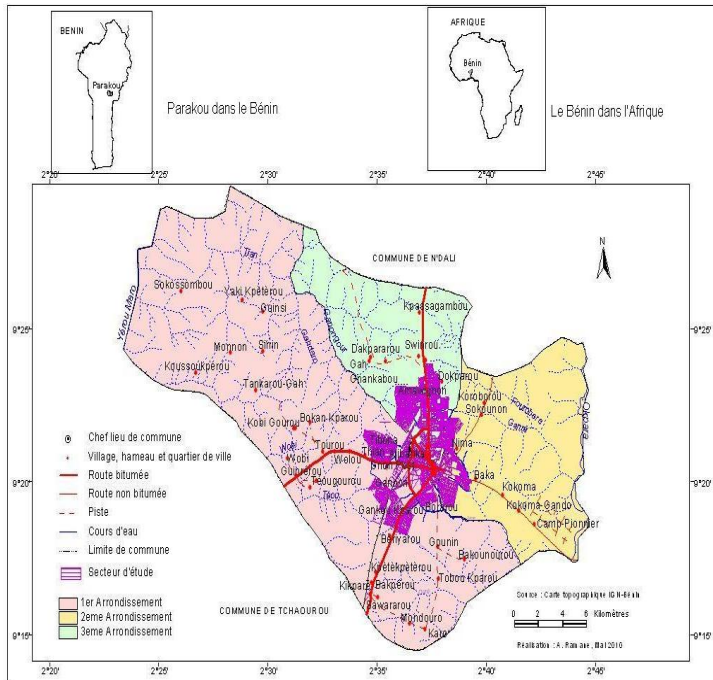


Figure 1 : La situation géographique de la commune de Parakou

Le secteur d'étude couvre le périmètre urbain qui a une superficie de 66 km² et que nous avons subdivisé en six (06) sous-bassins à partir du plan topographique 1 : 50 000; selon leurs caractéristiques physiques et urbaines (figure 2).

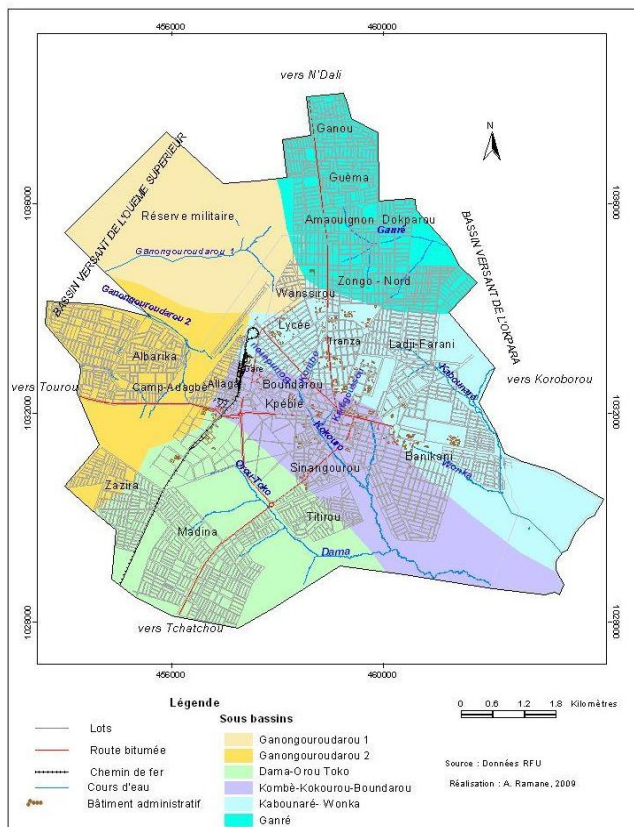


Figure 2 : Bassins versants de Parakou

Les caractéristiques des six (06) sous-bassins sont résumées dans le tableau I

Tableau I : Caractéristiques des bassins versants

N° BV	Bassins et sous bassins versants	Superficie (Km ²)	Indice global de pente I _G (m/km)	Longueur L (km)	Nature des sous bassins	
	<i>Bassin versant de l'Ouémé supérieur</i>				Aspect du réseau hydrographique	Géologie
1	Ganongourou darou1	10	25	6.5	Dendritique	Granite
2	Ganongourou darou2	9	15	8	Dendritique	Granite
	<i>Bassin versant de l'Opkara</i>					
3	Dama-Orou toko	13	30	7.5	Dendritique	Granite
4	Kombè-Kokourou- Boundarou	11	25	8.5	Dendritique	Granite
5	Kabounaré-Wonka	14	30	10	Dendritique	Granite
6	Ganré	8	25	7	Dendritique	Granite
	Total	65				

2. Methodes

Collecte des données climatiques et socio-économiques

Les données climatiques relatives à la pluviométrie mensuelle moyenne et extrême de 1967 à 2011, la hauteur maximale annuelle de pluie en 24 heures de 1967 à 2011 ont été tirées de la base de données de l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar (ASECNA) de Parakou. Les données démographiques et socio-économiques ont été collectées à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) et enfin les données sur l'état et le nombre des ouvrages d'assainissement des eaux pluviales, les dégâts environnementaux relatifs aux eaux de ruissellement sur le terrain; les données hydrographiques, pédologiques, géologiques et topographiques

ont été collectées du Système d'Information Géographique (SIG) de Parakou à la Mairie de Parakou.

Enquête socio-technique

L'objectif de cette enquête est de produire des données pour comprendre le vécu et le perçu (la perception, la demande, la participation, la volonté, les pratiques) de la population dans la gestion des eaux pluviales.

Echantillonnage

Le sondage a eu lieu dans dix (10) quartiers urbains. Cinq (05) ménages ont été tiré par quartier et six (06) personnes par ménage soit trois cent (300) personnes à raison de dix (10) à vingt (20) personnes par quartier (Tableau II et III).

Tableau II: Profil social des personnes interrogées

Echantillon		Tranche d'âge (en année)					
		<i>Hommes</i>			<i>Femmes</i>		
		18-35	36-50	50 et +	18-35	36-50	50 et +
Nombre	300	75	30	30	75	60	30
Pourcentage	100%	25%	10%	10%	25%	20%	10%

Source : Résultats enquêtes, 2010

Tableau III: Profil éducatif des personnes interrogées

Echantillon		Niveau d'Etude (en année)			
		Illétré	Primaires au moins 6	Secondaires 7 à 12	Supérieures 12 et plus
Nombre	300	35	65	150	50
Pourcentage	100%	12%	22%	50%	16%

Source : Résultats enquêtes, 2010

Les tirages ont été fait de façon aléatoire mais proportionnelle au nombre de ménages par quartier. En un mot, c'est une enquête par stratification qui a été utilisée. Le critère de choix des quartiers était basé sur la typologie urbaine (dense, moins dense, structuré, etc.) et l'activité (résidentielle, commerciale, administrative, mixte). Au sein du quartier choisi, les ménages à enquêter sont désignés selon la hiérarchie de la voirie (primaire, secondaire, tertiaire, desserte).

Déroulement

Une équipe de deux enquêteurs s'est chargée d'exécuter l'enquête sur le terrain. Ces agents enquêteurs ont été préalablement formés. Les informations sont recueillies à l'aide d'un questionnaire. La méthode utilisée est l'interview directe qui a consisté à administrer le questionnaire aux enquêtés. L'enquête a été réalisée de mars 2010 à janvier 2011.

Cette enquête nous a permis de mettre en exergue, l'interaction entre le système de gestion des eaux pluviales urbaines, les équipements techniques urbains et les productions urbaines. Il s'agit entre autres :

- du dysfonctionnement des équipements de drainage des eaux pluviales en fonction de la typologie urbaine ;
- du problème perçu et vécu par la population dans la gestion des eaux pluviales;
- de la gestion des déchets solides et des eaux usées ;
- des souhaits et contribution de la population à la gestion des eaux de ruissellement.

Observations participatives du terrain

Les observations de terrain ont été menées pendant la saison de pluie (Mai- Octobre), puis pendant la saison sèche. Plusieurs séjours dans les dix (10) quartiers urbains ont permis d'observer et de noter les différentes typologies urbaines, l'état et le débordement du réseau des eaux pluviales.

Ces observations ont fourni des informations croisées entre l'état du réseau des eaux pluviales et l'activité des zones.

Méthodes d'analyses et de traitement des données collectées

La problématique du ruissellement urbain nécessitant une approche globale et intégrée avec un accent particulier sur l'organisation de l'espace et des acteurs ; nous avons adopté à cette fin deux approches : *l'approche systémique et l'approche typologique.*

- *Approche systémique*

L'approche systémique permet d'étudier un phénomène, une organisation dans sa globalité, avec son environnement et dans sa composition (Dortier, 1999). Nous l'avons utilisée dans l'analyse interne et externe du système de ruissellement urbain.

▪ *Approche typologique*

L'approche typologique permet la simplification et l'interprétation d'une réalité complexe, elle permet ainsi de se repérer plus facilement (Doussot, 1990). Nous avons adopté cette approche dans l'analyse de l'état existant et dans la formulation des éléments de réponse.

Dans notre démarche, les données qualitatives (issues des entretiens individuels et les focus groupe) ont été enregistrées sur des bandes magnétiques et intégralement transcrites par la suite, sur papier. Cependant, seuls des extraits d'entretiens ou récits ont servi dans l'analyse thématique et catégorielle. Aussi, les données quantitatives, ont fait l'objet d'un traitement informatique à l'aide du logiciel Microsoft Word ; le logiciel Microsoft Excel a permis de réaliser, les graphiques, les courbes et les tableaux ; les cartes ont été réalisées avec les logiciels MAPINFO et ArcView GIS 3.2.

Une analyse des phénomènes pluviométriques a été menée sur les données pluviométriques. Elle a trait particulièrement à la pluviométrie mensuelle, à la hauteur maximale annuelle de la pluie en 24 heures. Les résultats de l'analyse fréquentielle des valeurs extrêmes de pluie de la même période (Abdoulaye, 2010) ont été utilisés pour construire la courbe des événements pluviométriques exceptionnels en fonction de leur probable période de retour. Sur la figure 3, les données sont représentées par des symboles (losange) tandis que la loi de Gumbel est représentée par une courbe continue.

Pour l'analyse des caractéristiques physiques et urbaines des bassins versants de la ville de Parakou, nous avons pris en compte : la superficie, la pente, la longueur, la nature des sous-bassins versants d'une part, la lame d'eau et l'érosion prévisible sur ces sous-bassins d'autre part.

3. Résultats

3.1 Caractéristiques des enquêtés

- ✓ Les tableaux II et III présentent les profils socio-éducatifs des personnes enquêtées.

- ✓ L'analyse croisée des tableaux (I et II) montre que sur les trois cent (300) personnes ayant répondu aux questions :
 - cent soixante cinq (165) sont des femmes soit 55% de l'ensemble;
 - cent trente cinq (135) sont des hommes soit 45%;
 - l'âge des enquêtés varie entre 18 et 75ans;
 - la moitié des enquêtés se trouve dans la tranche d'âge de 18 à 35 ans.
 - 50% des enquêtés ont le niveau d'étude secondaire.

3.2 Phénomènes Pluviométriques

- *Pluviométrie mensuelle moyenne et pluviométrie mensuelle extrême (1967-2011)*

- ✓ La figure 3 présente la pluviométrie mensuelle moyenne et pluviométrie mensuelle extrême de Parakou de la période allant de 1967 à 2011

- ✓ L'analyse de cette courbe montre que:
 - la somme moyenne des précipitations des cinq mois (mai à septembre) représente 79 % des précipitations annuelles.
 - La période allant de décembre à avril est déficitaire;
 - la distribution des précipitations à l'échelle mensuelle est variée.

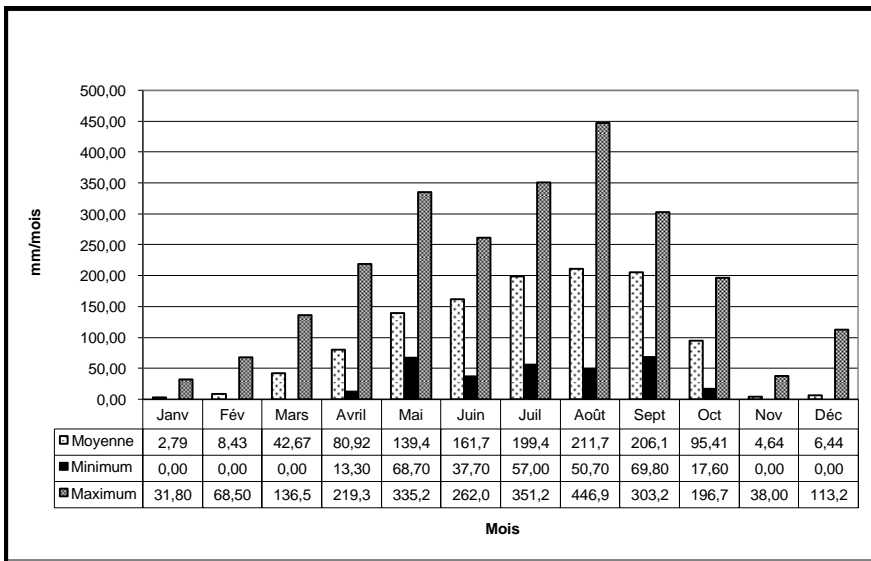
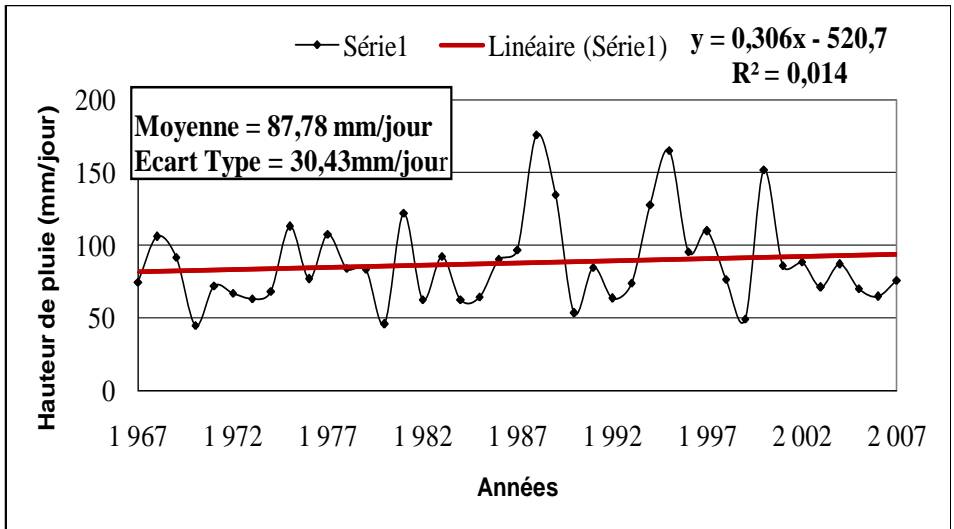


Figure 3 : Pluviométrie mensuelle moyenne et pluviométrie mensuelle extrême (1967-2011)

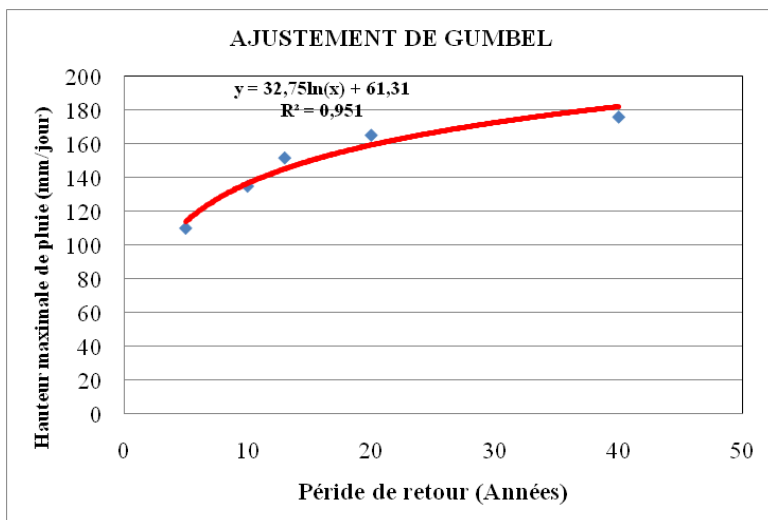
- *Hauteur maximale annuelle de pluie en 24h (1967-2011)*
- ✓ La courbe (figure 4) met en évidence des regroupements de grandes valeurs de la hauteur maximale annuelle de pluie en 24 heures sur la période 1967-2011.



Source : Statistiques de L'ASECNA, (2011)

Figure 4: Hauteur maximale annuelle de pluie en 24h (1967-2011)

- ✓ L'analyse de cette courbe montre que :
 - le coefficient de corrélation ($R^2 = 0,014$) est très faible,
 - les événements pluvieux extrêmes ont connu une augmentation de fréquence et d'ampleur sur la période allant de 1988 à 2000.
 - *Pluviométrie maximale journalière 1967 à 2011 (Ajustement de Gumbel)*
- ✓ La figure 5 présente la pluviométrie maximale journalière de la période allant de 1967 à 2011.



Source : D'après les statistiques de L'ASECNA, (2011)

Figure 5: Pluviométrie maximale journalière 1967 à 2011 (Ajustement de Gumbel)

- ✓ L'analyse de cette courbe montre que :
la hauteur maximale journalière de pluie est comprise entre 100 à 180 mm; les hauteurs comprises entre 110 mm et 150 mm, ont une durée de retour de 5 à 10 ans ; les hauteurs comprises entre 160 mm et 180 mm ont une durée de retour de 20 à 40 ans ; les hauteurs supérieures à 180 mm ont une durée de retour de 40 à 50 ans; les points sont presque alignés ; le coefficient de corrélation ($R^2 = 0,951$) est fort, et enfin les événements pluvieux considérés ont des périodes de retour de 5 à 40ans ;

3.3 Les lames d'eau et l'érosion prévisible sur les six sous- bassins versants

- ✓ Le tableau IV présente les lames d'eau et l'érosion prévisible sur les six sous- bassins versants

Tableau IV : Les lames d'eau et l'érosion prévisible sur les six sous-bassins versants

N° BV	Bassins et sous bassins versants	Lame d'eau L_{r10} (mm)	Erosion prévisible E(t/ha/an)
<i>Bassin versant de l'Ouémé supérieur</i>			
1	Ganongourou1	21.2	4
2	Ganongourou2	21.4	3
<i>Bassin versant de l'Opkara</i>			
3	Dama-Orou toko	20.9	5
4	Kombè-Kokourou- Boundarou	21.1	4
5	Kabounaré-Wonka	20.8	6
6	Ganré	21.5	4
Total			26

Source : Cabinet HYDEA, 2007

- ✓ L'analyse croisée des tableaux (I et IV) montre que :
 - les diverses formations géologiques des bassins versant de Parakou sont recouvertes par des sols faits de couches latéritiques dures et résistantes (cuirasse) ;
 - Les pentes des sous-bassins varient de 1.5% à 3% ;
 - les lames d'eaux décennales sont les mêmes dans les six sous-bassins ;
 - l'érosion évolue en fonction de la pente mais aussi en raison de la longueur du sous-bassin versant.

3.4 Analyse du système de gestion des eaux de ruissellement urbain

- ✓ Les photos (1 et 2) montrent le comblement des ouvrages d'assainissement pluvial ;
- ✓ Le dysfonctionnement des ouvrages d'assainissement pluvial est causé par:
 - la mauvaise conception des ouvrages;
 - le comblement progressif des ouvrages dû aux dépôts solides de toutes sortes (déchets ménagers, ferrailles ; pneumatiques);



Photo 1: Fossé encombré d'ordures à Ouézé

Source : A. Ramane, 2009

Photo 2 : Exutoire encombré d'ordures à Kadéra

Source : A. Ramane, 2009

- *Gestion et appropriation du réseau de drainage des eaux pluviales*
- ✓ La gestion des ouvrages d'assainissement pluvial au niveau de la maille et de l'inter-maille sont délaissés à la population;
- ✓ Le tableau V présente le recensement des moyens des ménages et de leur volonté de participation à l'assainissement pluvial;

Tableau V. Contribution des ménages à l'assainissement pluvial

Problème d'assainissement pluvial	Argent	Main d'œuvre	Savoir	Total
Oui	35%	50%	15%	100%
Non	30%	40%	30%	100%
Moyenne	32,50%	45%	22,50%	100%

Source : enquête, 2010

- ✓ L'analyse de ce tableau montre les possibilités de financement et types de participation à l'assainissement pluvial ainsi:
 - 32,50% des ménages participent en argent;
 - 45% des ménages participent en main d'œuvre;
 - 22,50% des ménages en savoir.
- *Interaction du Système de Gestion des Eaux Pluviales Urbaines (SGEPU) avec les éléments techniques urbains.*
- ✓ La figure 6 présente l'interaction du système de gestion des eaux pluviales urbaines avec les éléments techniques urbains et le champ d'action de Parakou

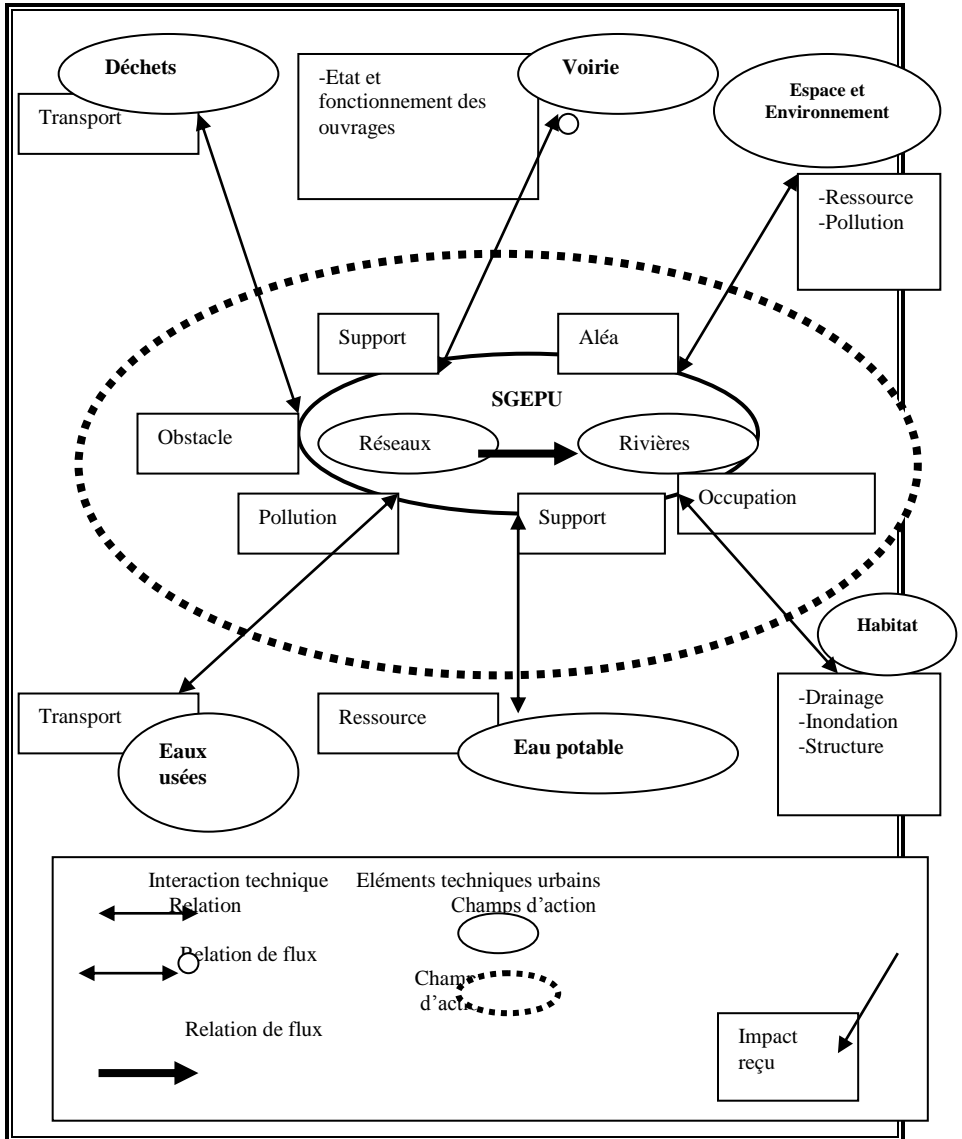


Figure 6 : l'interaction du système de gestion des eaux pluviales urbaines avec les éléments techniques urbains et le champ d'action de Parakou

- ✓ L'analyse de cette figure montre entre autres que :
- les déchets constituent un obstacle au transport des eaux pluviales dans les réseaux artificiels (les caniveaux) ou naturels (les cours d'eaux) ;
- l'occupation anarchique des lits des cours d'eau obstrue le drainage;
- les eaux usées constituent une source potentielle de pollution des réseaux de drainage;

3.5 Techniques d'assainissement pluvial proposées

❖ Techniques de contrôle des flux d'eau et de polluants

Le contrôle des flux d'eau et de polluants produits par les espaces urbanisés n'est pas une préoccupation récente. En France, cette préoccupation s'est concrétisée dès le début des années 80 par la mise en place de techniques dites "alternatives" ou "compensatoires" (Azzout, 1994). L'objectif principal était de compenser la capacité d'évacuation des réseaux d'assainissement qui devenait insuffisante du fait du développement urbain en périphérie et générait des inondations dans les zones basses des villes, souvent associées à des quartiers historiques denses et anciens. Le paradigme dominant était de retenir l'eau dans des bassins de retenue publics, secs ou en eau, de façon d'une part à piéger une partie de la pollution, majoritairement transportée sous forme particulaire, et d'autre part de réguler les flux d'eau rejetés. (Alfakih, 1991) relève deux grandes catégories de techniques alternatives présentées sur la figure 7 en fonction de leur position par rapport au ruissellement sur les surfaces urbaines :

- catégorie TA1 : ces techniques sont composées des ouvrages associés à des surfaces productrices de ruissellement, il s'agit de toiture et de chaussée poreuse à des structure réservoir permettant de stocker temporairement les eaux pluviales puis les évacuer à débit régulé. Ces techniques agissant avant ruissellement réduit les flux d'eau ;
- catégorie (TA2 et TA3) ces techniques sont composée des chaussées à structure réservoir, les tranchées, les fossés et les noues. Les techniques (TA2) agissent après ruissellement, les techniques (TA3) sont basées sur l'infiltration. Ces techniques (TA2 et TA3)

permettent la diminution des flux d'eau et de polluants à gérer en aval (Bouvier, 1990).

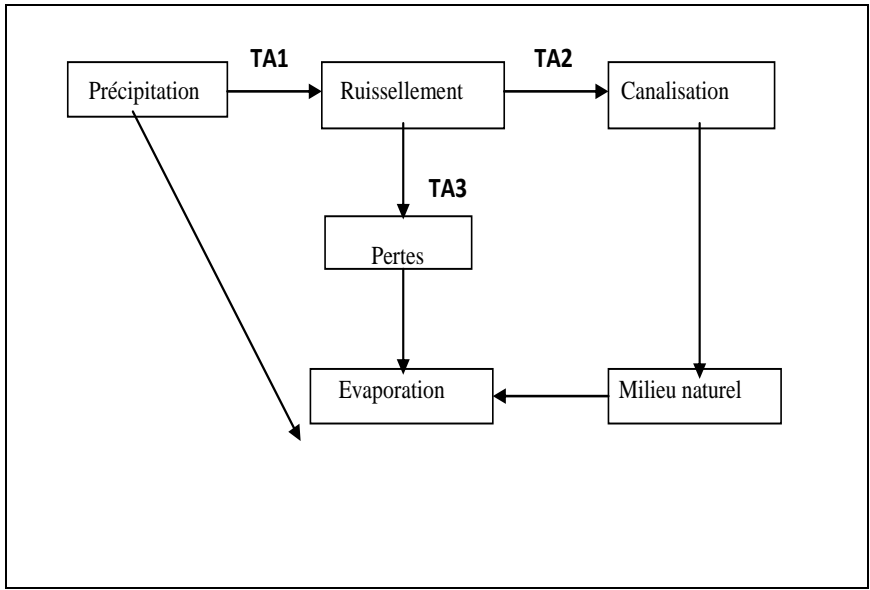


Figure 7: Position des techniques alternatives dans le cycle urbain de la pluie (Alfakih, 1991)

Dans la présente étude, trois types de techniques compensatoires sont proposés à s'avoir : le stockage provisoire en surface, la gestion à la parcelle et la gestion à la source.

- *Stockage provisoire en surface*

La solution consiste à utiliser des espaces urbains préexistants pour stocker provisoirement l'eau pendant les situations de crise et limiter ainsi les risques d'inondation à l'aval. Ce mode de gestion est à relier à la notion de réseau mineur et réseau majeur (Clar, 2004). Le réseau mineur est constitué par le réseau de conduites souterraines. Il est dimensionné pour accepter les crues fréquentes (typiquement de période de retour 1 à

3 ans). Le réseau majeur est constitué par une partie aménagée du réseau de voirie. L'aménagement consiste à construire des voiries de pente régulière (en évitant en particulier les points bas) et suffisamment décaissées par rapport aux immeubles desservis pour éviter les intrusions d'eau dans les rez-de-chaussée ou les sous-sols. Ce réseau majeur guide les flux générés par les événements extrêmes vers les zones de stockage indiquées précédemment.

Une gestion optimum de ce type d'aménagement, qui se développe depuis plusieurs années en Australie (O'Loughlin, 1987), nécessite une très bonne ingénierie des points d'entrée dans le réseau (avaloirs et bouches d'égout). Ces ouvrages doivent en effet se comporter comme des régulateurs et ne laisser rentrer dans le réseau mineur que les flux que ce dernier est capable d'accepter.

O'Loughlin & Anderson (2004) présentent une méthode originale de dimensionnement de systèmes d'assainissement pluviaux reposant sur trois principes :

- ✓ ne recevoir dans le réseau souterrain (réseau mineur) que les débits d'eau produits par des pluies de période de retour 2 à 5 ans en limitant la capacité d'avalement des avaloirs et des bouches d'égout ;
- ✓ adapter le réseau de rues (réseau majeur) pour qu'il puisse véhiculer sans désordres importants les débits générés par des pluies de période de retour 100 ans et les diriger vers des exutoires naturels ou zones de stockage et / ou d'infiltration ;
- ✓ utiliser comme zone de stockage et / ou d'infiltration tout espace urbain vide pouvant recevoir provisoirement de l'eau sans dégâts importants, en particulier les parcs, jardins publics et parkings, mais aussi des places, des cours d'école, etc.

Une évolution actuelle consiste à considérer globalement le système urbain et à concevoir les quartiers pour permettre une gestion intelligente et durable des eaux de ruissellement.

○ *Gestion à la parcelle*

Les tranchées de rétention/infiltration sont des ouvrages linéaires et superficiels (d'une profondeur généralement inférieure au mètre) qui

peuvent recueillir les eaux de ruissellement de différentes manières et qui les évacuent ensuite soit directement par infiltration vers le sol profond, soit vers un exutoire (réseau, puits, etc.).

Les tranchées sont utilisées depuis de nombreuses années dans beaucoup de pays comme l'Allemagne, l'Australie, le Danemark, les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, le Japon, la Scandinavie, la Suède, etc. (Brelot, 2001 ; 2004 ; 2007). En France, cette technique est aussi largement répandue. La mise en œuvre relativement facile des tranchées, leur faible emprise au sol et la possibilité de les intégrer dans presque n'importe quel type de forme urbaine (le long d'une voirie ou d'un immeuble, au milieu d'un parking ou d'un espace vert) expliquent probablement leur succès.

○ *Gestion à la source*

Les chaussées à structure réservoir permettent de stocker dans le corps de chaussée des quantités importantes d'eau pour les restituer ensuite à débit contrôlé soit à un réseau traditionnel, soit au milieu naturel par infiltration ou par un exutoire régulé. L'alimentation du corps de chaussée peut se faire soit par infiltration dans la couche de roulement (chaussées poreuses), soit par des drains si la couche de roulement est imperméable.

Bien que ces techniques apportent une solution alternative sur le plan pratique, leur apport sur la diminution du coût n'est pas systématique. Les études relatives à leur coût donnent des résultats mitigés comparés à ceux des techniques classiques (réseau) selon le site. Cependant, elles apportent d'autres avantages relatifs aux multiples usages qu'elles offrent en plus de la diminution des flux d'eau et de polluants à gérer en aval.

4. Discussion

L'écart entre le nombre d'hommes et de femmes enquêtés pourrait s'expliquer par le rôle prépondérant que les femmes jouent dans l'assainissement pluvial, aussi le nombre élevé des jeunes et leur niveau d'étude s'expliquerait par le fait que cette tranche représente les personnes actives qui pourrait comprendre et influencer d'une manière ou d'une autre sur la gestion des eaux de ruissellement.

La concentration des précipitations dans la période allant de mai à octobre révèle que le ruissellement ne pourrait avoir lieu de manière notable que pendant cette période. Ainsi, l'érosivité des pluies s'observerait plus dans cette période qui serait alors très sensible à la dégradation des sols et aux inondations surtout du fait de l'effet accumulateur bien que seule la hauteur des pluies ne pourrait expliquer l'importance du ruissellement (Abdoulaye, 2009). Selon Chocat (1997), la pluie est l'élément de départ du phénomène de ruissellement. A Parakou, elle est la cause principale de l'érosion hydrique et de l'inondation (Abdoulaye, 2007).

Le taux très faible du coefficient de corrélation pourrait expliquer, la non homogénéité des extrema à la courbe des moyennes et confirmerait la grande variabilité des hauteurs maximales annuelle de pluie en 24 heures à Parakou. Selon (Boko, 1988), cette variation s'explique par la variabilité de la pluviométrie qui est relative aux migrations sud-nord et nord-sud de la mousson ouest africaine. L'augmentation des événements pluvieux extrêmes s'expliquerait selon le GIEC en 2001, par la relation qui s'établit entre le réchauffement planétaire et les extrêmes pluviométriques. C'est celle liée aux effets possibles d'un climat plus chaud, sur les processus physiques régissant les différents phénomènes météorologiques. Varado (2004), a montré qu'il y a un accroissement de la température de 1°C dans la ville de Parakou. Cet accroissement modifie le bilan climatique : précipitation, évaporation et évapotranspiration (Escourrou, 1991). En effet, le réchauffement fait augmenter non seulement l'évaporation et la transpiration, mais aussi la capacité de l'air à contenir l'humidité (Notre planète Info, 2003). Il y a donc dans l'atmosphère plus d'eau susceptible de tomber sous forme de pluie, d'où l'augmentation de la fréquence des événements pluvieux extrêmes.

Le fort du coefficient de corrélation obtenu par l'Ajustement de Gumbel expliquerait, que le modèle de Gumbel semble convenir parfaitement dans le sens où les quantiles empiriques sont tous compris dans l'Intervalle de Confiance et sont, de plus, remarquablement proche de la loi continue. La loi de Gumbel a l'avantage d'être très connu par les ingénieurs qui l'utilisent dans le cadre de travaux sur la fiabilité des infrastructures. L'estimation de la récurrence de pluies extrêmes fournit

des éléments indispensables pour la construction d'infrastructures telles les digues et les ouvrages de drainage des eaux pluviales, afin de protéger efficacement la population et leurs biens. La période de retour sert notamment à établir les crues centennales pour la constitution des Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRI). Une justification théorique de l'application de ces lois aux valeurs maximales annuelles peut être trouvée par exemple dans Beirlant (1996). Les descriptions les plus simples étant en général les meilleures, nous proposons de travailler avec la distribution de Gumbel qui est décrite par seulement deux paramètres et qui présente de ce fait une expression mathématique plus simple. Cette hypothèse a de plus été préalablement testée et validé au moyen de différents tests statistiques (Mohymont, 2004). On note cependant que des études récentes (Wilks, 1993; Koutsoyiannis, 2000; Coles, 2003; Koutsoyiannis, 2004) ont exprimé un certain scepticisme concernant l'utilisation de la distribution de Gumbel pour les extrêmes de précipitations, montrant que cette distribution peut, dans certains cas, sous-estimer sérieusement les valeurs extrêmes de pluie pour de très longues périodes de retour.

Les sols de Parakou sont constitués de couches latéritiques dures (curasses). Or selon (Dubroeuq, 1977), le socle et les curasses réduisent le potentiel des ressources en eau en favorisant un écoulement moyen de 85 à 90 m/s, ces différents facteurs empêchent la formation des nappes souterraines et réduisent la disponibilité de la ville en eau. Notre bassin se caractérise donc par une faible capacité d'infiltration, ce qui peut constituer une contrainte pour l'application de certaines techniques alternatives. La profondeur utile moyenne de ce type de sol, peut être limitée par la discontinuité d'un horizon concrétionné parfois massif rendant médiocre le drainage des eaux. L'égalité approximative des lames d'eaux décennales écoulées dans les six sous-bassins pourrait s'expliquer du fait que le coefficient d'abattement ($A=0,88$ en moyenne) de pluie est pratiquement les mêmes dans les sous bassins, car la variation de leurs superficies est négligeable. L'ampleur d'érosion est déterminée par les pentes et longueurs des six sous-bassins. Ce résultat, étonnant à première vue, peut cependant s'expliquer. En effet sur faible pente l'énergie du ruissellement est trop faible pour transporter les sables en suspension; ils rampent donc à la surface du sol et colmatent les macroporosités (pellicule de glaçage). L'érosion en nappe laisse alors des

traînées sableuses. Par contre sur forte pente, l'érosion se développe en rigoles ce qui augmente la surface exposée aux pluies et les pores dégagés; l'énergie du ruissellement est telle qu'elle décape le sol en laissant continuellement ouverte la porosité de surface. Par ailleurs, la pente hydraulique augmente avec la pente topographique, ce qui veut dire que le drainage interne du sol est plus rapide et l'engorgement de surface moins prononcé sur les pentes fortes. Les auteurs (Bertrand, 1967 ; Roose, 1974) s'accordent pour reconnaître le rôle important que joue la pente (longueur, forme et surtout inclinaison) sur le développement de l'érosion. Fournier (1967) fait cependant remarquer qu'il n'est point besoin d'une forte pente pour déclencher ce processus sur certains sols. C'est ainsi qu'à Séfa, au Sénégal, des pentes de 2,5% ont dû être abandonnées après défrichage et trois années de culture mécanisée. Par ailleurs, lorsque le sol est totalement couvert, l'érosion est faible quelle que soit la pente. A Séfa sous diverses cultures, l'érosion et le ruissellement croissent plus que proportionnellement à la pente.

La cause majeure du problème lié à l'eau de ruissellement ne vient pas seulement du manque d'équipement mais également du manque d'entretien de l'existant. Là encore, les services de collecte de déchets et de l'entretien de la voirie se limitent au niveau des voiries primaires et de quelques voiries secondaires. Au niveau des voiries tertiaires, il n'existe aucun système d'entretien des rues. Chaque ménage nettoie de temps en temps le fossé devant sa porte quand cela devient gênant. Par ailleurs, la participation de la population est considérée comme un élément important pour le développement durable. Sur ce point, la ville dispose d'un acquis important (Abdoulaye, 2007) ce qui exprime l'existence de la cohésion sociale au niveau de la population de Parakou. Somme toute, malgré l'esprit d'entraide et de solidarité de la population, l'expérience de la gestion des ouvrages techniques par le recours à la participation de la population s'est avérée peu concluante, du fait de l'absence d'un acteur réellement engagé. Cependant, la question qu'on se pose est de savoir comment concilier, le caractère territorial et collectif de la gestion des eaux pluviales (lié à la notion du bassin versant) avec les interventions ponctuelles locales et non coordonnées qui sont effectuées dans la réalité. La nécessité de la participation de la population est incontournable à cause de l'insuffisance de l'organisation au niveau de la municipalité de Parakou. Il est cependant indispensable de prévenir et de

minimiser l'effet pervers souvent présent de l'action collective. « Toutes nos actions risquent d'aboutir au contraire de ce que nous cherchons à réaliser : l'effet contre intuitif est au cœur même de tout effort d'action collective » (Crozier, 1977). Compte tenu de l'inadéquation (actuelle et probablement future) entre les moyens et les tâches des acteurs centraux de la gestion des eaux pluviales de la ville, il est nécessaire et indispensable d'ajuster voire de redéfinir l'organisation actuelle afin de permettre une répartition des rôles basée sur la réalité hydrographique et organisationnelle et de cadrer le rôle de la population. L'importance des perturbations réciproques et cycliques des éléments techniques de la gestion urbaine pourrait s'expliquer par l'insuffisance de gestion des déchets solides et liquides et de la voirie sur le SGEPU et vice versa (Abdoulaye, 2010). Il est donc nécessaire de réguler ces perturbations pour avoir une gestion urbaine optimisée, efficace et durable des eaux de ruissellement. Une gestion efficiente des ordures apportera une amélioration significative à l'assainissement pluvial. L'amélioration du SGEPU, acquise par la diminution de perturbations, contribuera au bon fonctionnement des voiries et des latrines évitant leur dégradation prématurée (Abdoulaye, 2007).

5. Conclusion

La présente étude a permis de montrer que les femmes jouent un rôle prépondérant dans la gestion des eaux de ruissellement d'une part, les jeunes qui représentent la couche active de la population influencent d'une manière ou d'une autre ladite gestion d'autre part. L'étude a aussi révélée les phénomènes pluviométriques dans la période allant du mois de mai à octobre représentant la période la plus pluvieuse ou le ruissellement est véritablement observé avec pour corollaire l'érosion hydrique et l'inondation sur un sol qui leur est fragile et vulnérable. Les résultats mettent en évidence une variabilité significative des hauteurs maximales annuelles de pluie en 24 heures accompagnées de l'augmentation de leur fréquence et de leur ampleur. Les conditions climatiques se dégradent d'une manière générale du Sud vers le Nord. Les résultats obtenus ont révélés que la gestion des eaux de ruissellement subit cinq contraintes majeures provenant de la gestion de l'espace urbain: le non-respect des plans d'urbanisme (occupation des lits majeurs

et mineurs des cours d'eaux ainsi que l'emprise des voiries) entraînant l'inondation; une morphologie urbaine non structurée (les deux tiers de l'espace urbain sont sans ouvrage d'assainissement pluvial) où l'écoulement des eaux pluviales se fait parfois à travers des pièces d'habitation; une expansion urbaine qui intègre peu la question de l'assainissement; une obstruction du réseau des eaux ruissellement par les déchets (eaux usées, ordures, etc.) qui constitue une cause majeure de son dysfonctionnement ;une faible organisation basée sur le découpage administratif. Il serait par ailleurs de bonne méthode, pour tirer le meilleur parti de l'apport des populations, de définir de manière précise un rôle et de l'associer à un territoire et à une fonction bien déterminées. Pour la résolution de ces cinq familles de contraintes, nous avons proposé entre autres solutions, les techniques dites alternatives ou compensatoires afin de donner aux réseaux des eaux de ruissellement (naturels, artificiels) une autonomie de fonctionnement.

6. Références Bibliographiques

Abdoulaye. A ; 2006: La gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain pour un développement durable : Application à la ville de Parakou. Mémoire de DEA, 58 p.

Abdoulaye.A..., Oyédé.M ; 2007 : Gestion de l'assainissement pluvial dans un centre urbain en milieu tropical : cas de la ville de Parakou. Actes du premier colloque de l'UAC des sciences, cultures et technologies, volume 2, 199-207 p

Adoulaye.A., Oyédé. M. ; 2009: Un site urbain de l'Afrique tropicale confronté aux contraintes naturelles et anthropiques : le cas de la ville de Parakou au Bénin. *Revue BenGéO*, N°5, 16p.

Abdoulaye A.R, 2010 : Un modèle de gestion durable des eaux pluviales urbaines en Afrique tropicale : Application à la ville de Parakou. Thèse de doctorat unique. Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 336 pages.

Alfakih E, 1991 : Approche globale pour la conception des technologies alternatives en assainissement pluvial intégrées à l'aménagement. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard, Lyon 1.259 page.

Azzout Y., Barraud S., Crès F.N., Alfakih E., 1994: Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien. *Tec & Doc Lavoisier*, Paris, 378 p.

Beirlant J., Teugels J., Vyncler P., 1996: *Practical Analysis of Extreme Values*. Leuven University Press, Belgique. 250p

Bertrand R., 1967 : Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays Baoulé. *Coll. Fertilité sols tropicaux: Tananarive*, 106 : 1281- 1295

Boko M., 1988 : Climat et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorat d'Etat, deux tomes, Centre de Recherches de Climatologie. URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 608p

Bouvier C., 1990 : *Analyse des écoulements en milieu urbain africain*, éd ORSTOM, Paris, 284 p.

Brelot E., 1994 : Eléments pour la prise en compte de l'impact des rejets urbains sur les milieux récepteurs dans la gestion des systèmes d'assainissements. Thèse de doctorat. Institut Naturels des Sciences Appliquées de Lyon (INSA). 274p.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M., 2001. Les nouvelles technologies en assainissement pluvial (Novatech'2001), actes de la 4^{ème} conférence Novatech ; *GRAIE, Lyon* (France), 2 tomes, 1119p.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M., 2004. Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie (Novatech'2004), actes de la 5^{ème} conférence Novatech ; *GRAIE, Lyon* (France), 2 tomes, 1710p.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M., 2007. Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie (Novatech'2007), actes de la 6^{ème} conférence Novatech ; *GRAIE, Lyon* (France), 3 tomes, 1790p

Chocat B., 1997 : *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*, Ed. Tec & Doc., 1124 pages

Coles S., Pericchi L. R., et Sisson S., 2003: A fully probabilistic approach to extreme rainfall modelling, *J. Hydrol.***273** (1/4), p: 35–50.

Dortier J., 1999 : *L'approche systématique des organisations. Les organisations : état des savoirs*. Auxerre : sciences humaines ; pp. 101-105.

Clar M.L., Barfield B.J., and O'Connor T.P.,2004:. Stormwater Best Management Practice Design Guide Volume 2 Vegetative Biofilters. *US EPA*, National Risk Management Research Laboratory.

Crozier M., Friedberg E., 1977 : L'acteur et le système : Les contraintes de l'action collective. Paris : seuil, 440 p.

Desbordes M., 1987 : Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain. Thèse d'état. Université des sciences et techniques du. Montpellier. 242 pages

Doussot R., 1990 : *Cour d'aménagement interne* ENITF. Les Bareres, 50 p.

Dubroeuq D., 1977 : Note explicative de la carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin. Feuille de Parakou de l'ORSTOM, Paris, n°66,37 p.

Escourrou G., 1991 : Le climat et la ville, Nathan, Paris, 190 p.

Fournier F., 1967 : La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. *Sols africains*, 12 (1) : 5-53.

GIEC., 2001 : Bilan 2001 des changements climatiques ; rapport de synthèse, Genève, 308 p.

Koutsoyiannis D. et Baloutso G., 2000: Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences. *Natural Hazards* **22**(1) : 31–51.

Koutsoyiannis D., 2004: On the appropriateness of the Gumbel distribution for modelling extreme rainfall. In: *Hydrological Risk: Recent Advances in Peak River Flow Modelling, Prediction and Real-time Forecasting. Assessment of the Impacts of Land-use and Climate Changes* (ed. by A. Brath, A. Montanari & E. Toth), Editorial Bios, Castrolibero, Bologna, Italy. p: 303–319.

Mohymont B., Demaree G. R. et Faka D. N., 2004: Establishment of IDF-curves for precipitation in the tropical area of Central Africa-comparison of techniques and results. *Natural Hazards and Earth System Sciences* **4**, 375–387.

O'Loughlin G., 1987: Safety for urban drainage systems ; 4th International conference on urban storm drainage ; Lausanne ; pp 345-350.

O'Loughlin G., Anderson G., 2004: Improved design methods for pipe drainage ; Novatech , *GRAIE, Lyon* ; pp 499-506.

Roose E., 1993 : Erosion en nappa et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cah. Orstom, Pédol. 28, 289-308

Varado N., 2004 : Contribution au développement d'une modélisation hydrologique distribuée. Application au bassin versant de la Donga, au Bénin. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 319 p.

Wilks D. S., 1993: Comparison of three-parameter probability distributions for representing annual extreme and partial duration precipitation series, *Water Resour. Res.* **29**(10), p: 543–549.