

## **Influence des variables pédoclimatiques sur la production de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans trois zones productrices de la République du Congo**

**Julien Galet Cerely DIANGA\*, Joseph MPIKA, Liana Dalcantara ONGOUYA épouse MAKANGA et ATTIBAYEBA**

*Université Marien Ngouabi, Faculté des sciences et Techniques, Laboratoire de Biotechnologie et Production Végétale, Brazzaville, Congo*

(Reçu le 11 Octobre 2024 ; Accepté le 30 Décembre 2024)

---

\* Correspondance, courriel : [juliendianga7@gmail.com](mailto:juliendianga7@gmail.com)

### **Résumé**

Cette étude identifie les variables pédoclimatiques influençant la productivité du haricot dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémié. Après la sélection de 36 parcelles, un suivi des phénophases et des mesures de croissance (diamètre, hauteur de la tige, nombre de feuilles) et de rendement (fleurs, gousses, graines par gousse, poids de 100 graines) a été effectué sur 720 plants. Le cycle cultural de 90 jours et les interactions entre la pluviosité, l'humidité relative, la température et le type de sol influencent significativement le rendement. À Boko-Songho, le sol sablo-limoneux, une température modérée et une faible humidité relative favorisent une bonne productivité. À Kimongo, sur sol argilo-sableux, la pluviométrie et une forte humidité relative stimulent la croissance. À Lissiémié, la faible pluviosité limite le rendement malgré un sol riche en matières organiques, les variétés locales étant sensibles au déficit hydrique. Les résultats soulignent que Boko-Songho présente les conditions les plus favorables pour la culture du haricot. Cette étude constitue une base scientifique pour développer des stratégies agroécologiques améliorant la résilience des variétés locales et promouvant la sécurité alimentaire en République du Congo.

**Mots-clés :** *climat, croissance végétative, haricot, phénophases, sol.*

### **Abstract**

**Influence of pedoclimatic variables on the production of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in three growing areas of the Republic of Congo**

This study identifies the pedoclimatic variables influencing the productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in the localities of Kimongo, Boko-Songho, and Lissiémié. After the selection of 36 experimental plots, phenophase monitoring and measurements of growth parameters (stem diameter, plant height, number of leaves) and yield components (number of flowers, pods, seeds per pod, and 100-seed weight) were conducted on a total of 720 plants. The results indicate that the crop cycle, lasting 90 days, and the interactions between rainfall, relative humidity, temperature, and soil type significantly affect yield. In Boko-Songho, the sandy-loam soil, combined with moderate temperatures and low relative humidity, supports optimal productivity. In Kimongo, clay-sandy soils benefit from high rainfall and relative humidity, promoting

growth. Conversely, in Lissiémié, despite the soil being rich in organic matter, low rainfall results in reduced yields, highlighting the sensitivity of local varieties to water deficits. In conclusion, Boko-Songho emerges as the locality with the most favorable conditions for bean cultivation. These findings provide a robust scientific foundation for the development of agroecological strategies to enhance the resilience of local varieties to climatic challenges and sustainably improve food security in the Republic of Congo.

**Keywords :** *climate, vegetative growth, common bean, phenophases, soil.*

## 1. Introduction

L'agriculture est au carrefour de trois grands défis dans le contexte de changement climatique. D'abord le secteur est attendu à produire encore plus de 60 % de nourriture d'ici 2050 [1]. En plus cette augmentation de la production doit survenir même si les impacts des changements climatiques sont devenus évident sur le système de production, le bétail et la pêche globalement [2]. Enfin, le secteur contribue entre 19 % et 26 % des émissions de gaz à effet de serre anthropique [3] et il sera indiqué de réduire ces émissions significativement d'ici 2030 dans l'optique d'achever le but global limitant le réchauffement de 2°C. Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est une légumineuse alimentaire d'importance majeure en Afrique subsaharienne. Il constitue une seconde source de protéine et une troisième source calorifique pour les populations [4]. Le haricot est particulièrement prisé et cultivé par les Congolais parmi une gamme variée de légumineuses. Les graines de haricot constituent une source principale de protéines disponibles localement dans de nombreux pays en développement, jouant ainsi un rôle crucial sur les plans alimentaire, économique et agronomique. Elles sont un élément essentiel du régime alimentaire de millions de personnes à travers le monde, offrant une riche source de protéines ainsi qu'une abondance d'éléments minéraux tels que le fer, le calcium, le zinc et la vitamine A [5]. La culture du haricot constitue une source de revenus stable pour les agriculteurs grâce à son cycle de croissance relativement court, favorisant ainsi une amélioration notable de leurs conditions de vie. Son usage alimentaire diversifié permet de le consommer sous forme de légumes (feuilles et gousses vertes) et de graines fraîches ou sèches. Les graines sèches de haricot constituent sous les tropiques la principale denrée et source de revenu [6]. De plus, les légumineuses présentent des avantages environnementaux significatifs grâce à leur capacité unique à fixer l'azote atmosphérique, en établissant une symbiose avec des bactéries appelées Rhizobium. Cette association symbiotique fournit entre 70 et 80 % des besoins énergétiques de la plante, permettant ainsi d'obtenir des rendements satisfaisants sans nécessiter l'ajout d'engrais azotés [7]. L'activité de fixation symbiotique de l'azote est régulée, chez les légumineuses, par la plante et ajustée à ses besoins, ce qui réduit considérablement les risques de gaspillage et de lessivage de cette ressource [7]. En limitant l'utilisation d'engrais azotés, la culture de légumineuses contribue à préserver la qualité des sols et des eaux [8]. Malheureusement, ces plantes se caractérisent très souvent par des rendements faibles et instables. Cela s'explique, en particulier, par leur sensibilité aux contraintes biotiques et abiotiques [9]. Toutefois, les efforts de production menés sur le terrain, sont minutieusement contrôlés en fonction de divers paramètres physiques, notamment la température, l'humidité atmosphérique, la pluviométrie et les caractéristiques du sol, parmi d'autres. La Communauté Economique des états d'Afrique (CEA) en 2009 indique que la variabilité climatique est le problème le plus sérieux de la paysannerie en Afrique. La forte dépendance de l'agriculture vis-à-vis de la pluviométrie et le caractère imprévisible et non cernable des précipitations posent de très sérieuses menaces à la sécurité alimentaire. Le manque de pluies entraîne le stress hydrique qui rend les sols hostiles à la croissance des plantes et cause l'échec des campagnes agricoles (pertes de récoltes, du capital semencier et des récoltes déficitaires) [10]. Les cultures répondent et se comportent différemment aux stress environnementaux en fonction de la période où elles les subissent [11, 12] car dans de nombreuses régions tropicales, les systèmes culturaux se

caractérisent par des niveaux de productivité insuffisants pour atteindre les objectifs de sécurité alimentaire [13]. En effet, confrontée à des contraintes d'ordre climatiques, édaphiques et techniques, la production du haricot est faible et surtout variable dans l'espace et dans le temps [14]. Pour résoudre cette situation, il est essentiel de bien comprendre les conditions climatiques et les caractéristiques édaphiques qui influencent les cultures de haricot. Face à ce défi, l'élaboration de calendrier cultural et les caractéristiques idoines du sol pour la production du haricot sont indispensables pour garantir la sécurité alimentaire, en rendant cette source de protéines plus abordable et accessible à la population congolaise. Il est donc essentiel de comprendre les différents stades phénologiques du haricot ainsi que la dynamique des variables pédoclimatiques, car ces derniers étant fréquemment corrélés aux phases de développement de la plante de haricot. Jusqu'à présent, aucune recherche n'a été entreprise concernant l'influence des variables pédoclimatiques sur les différentes phases de croissance et niveau de productivité du haricot dans les régions productrices du Congo. L'objectif de cette étude est d'identifier les variables pédoclimatiques influençant les phénophases et la production du haricot dans les trois principales localités productrices au Congo.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Matériel végétal

Le matériel végétal dans cette étude a été composé des cultivars locaux traditionnellement exploités par les producteurs dans les localités productrices du haricot. Ces cultivars nains se distinguent par la couleur de leur tégument de graines (blanc ou jaune) ainsi que la morphologie des grains qui peuvent être allongés, ronds ou ovales. Ils ont été sélectionnés en raison de leur forte appréciation par les producteurs et de leur disponibilité sur le marché local.



**Figure 1** : Différents cultivars de haricot cultivés dans les zones de production : Kikata Blanc Bouansa (a), Mbidi (b), Kikata Jaune Mouyondzi (c), Blanche Kindamba (d), Kikata Blanc N'kayi (e), Kikata Jaune Boko-Songho (f), Tihou ou Rouge avec le tégument blanc Boko-Songho (g), Kikata Blanc Boko-Songho (h), Rouge sombre strié de blanc (i). (DIANGA 2019)

## 2-2. Méthodes

### 2-2-1. Choix de sites, mise en place du dispositif expérimental et prélèvement des échantillons du sol

Pour le suivi phénologique de haricot, il a été répertorié 36 parcelles dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémie situées respectivement dans les départements du Niari, la Bouenza, et la Lékoumou. La localité de Kimongo est située à  $04^{\circ}28'53.1''S$  et  $012^{\circ}57'28.9''E$  avec une altitude de 365 m. Pendant la période de l'étude, il a prévalu dans cette localité les précipitations mensuelles de 153,8 mm à 200 mm. Les températures maximales moyennes étaient comprises entre  $27^{\circ}C$  et  $31,8^{\circ}C$ . La localité de Boko-Songho est située entre  $4^{\circ}26'16''S$  et  $13^{\circ}37'16''E$ , à une altitude moyenne de 541 m et à 48,4 km de Madingou, chef-lieu du département de la Bouenza. Les précipitations moyennes varient de 286,7 mm à 349,6 mm tandis que les températures maximales moyennes oscillent entre  $25,7^{\circ}C$  et  $30,2^{\circ}C$ . La localité de Lissiémie, quant à elle, se trouve dans le département de la Lékoumou. Elle est située environ 350 km de Brazzaville, avec des coordonnées géographiques de  $03^{\circ}41'S$  de latitude et  $13^{\circ}20'E$  de longitude, à une altitude d'environ 530 m. Les conditions climatiques dans la localité se caractérisent par une moyenne mensuelle des précipitations de 146,12 mm à 378,2 mm, une température moyenne sous abri entre  $19,7^{\circ}C$  et  $28^{\circ}C$ , une humidité relative moyenne de l'air entre 70,17 et 97,5 %. Dans les trois localités, le climat est équatorial de type "guinéen forestier" avec quatre saisons distinctes : une petite saison pluvieuse d'octobre à décembre, une petite saison sèche de janvier à février, une grande saison pluvieuse de mars à mai, et une grande saison sèche de juin à septembre (*Tableau 1*).

**Tableau 1 : Données climatiques pendant la période expérimentale**

Paramètres climatiques	Localités	Mois				
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Précipitations (mm)	Kimongo	00,00	00,00	00,60	19,70	170,10
	Lissiémie	00,70	00,00	12,00	37,90	264,20
	Boko-Songho	00,00	00,00	00,00	59,30	266,60
Température ( $^{\circ}C$ )	Kimongo	29,20	28,30	27,70	29,30	30,60
	Lissiémie	26,40	26,30	26,00	27,50	28,40
	Boko-Songho	24,48	24,36	24,69	26,14	26,14
Humidité relative (%)	Kimongo	90,00	87,00	86,00	88,00	91,00
	Lissiémie	91,00	94,00	93,00	90,00	89,00
	Boko-Songho	88,14	87,82	84,10	85,72	86,99

Source : Station météorologique de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile (A.N.A.C) du Congo Brazzaville.

Pour le choix des parcelles, une prospection a été conduite dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémie. Dans ces localités, les critères du choix des parcelles de haricot ont porté sur l'accessibilité, l'accord et la participation des producteurs. Ces parcelles choisies ont été distantes d'au moins 1 à 3 km sur l'axe. Les axes Nord, Sud, Est et Ouest ont été retenus par rapport au centre de la localité visitée. Dans la localité de Kimongo, il a été retenu huit (8) parcelles de haricot au cours de la prospection réalisée du 18 mai au 5 juin 2019. Il a été choisi 16 parcelles de haricot dans la localité de Boko-Songho et 12 parcelles à Lissiémie. La parcelle choisie a été géo référencée à l'aide de GPS marque GARMIN. Sur la parcelle, il a été mis en place le dispositif expérimental. Ainsi, la parcelle a été subdivisée en quatre parcellaires. Dans une parcellaire, il a été installé une micro parcelle de cinq (5) mètres de long et deux (2) mètres de large. Dans la micro-parcelle, cinq plants ont été choisis en fonction de leur vigueur puis étiquetés. Une étiquette portant le numéro d'identification et un long fil en plastique de couleur vive ont été posés sur le tuteur afin de repérer facilement le pied lors des mensurations ultérieures. Les mensurations ont porté sur vingt (20) plants par parcelles soit

720 plants suivis dans l'essai. Ces mensurations ont été faites de juin à septembre durant la saison culturale de juin à octobre 2019. Pour les analyses physico-chimiques du sol, les échantillons ont été prélevés dans les parcelles paysannes retenues. Des échantillons du sol ont été prélevés au moyen d'une tarière manuelle dans les vingt premiers centimètres supérieurs assimilables à l'horizon organique (0 à 20 cm). Sur une parcelle, les échantillons du sol ont été prélevés suivant les deux diagonales. Les sols prélevés ont été mélangés pour constituer un échantillon composite [15]. Ces échantillons composites ont été transportés au laboratoire, où ils ont été séchés à température ambiante (25 à 30° C). Une fois séchés, les échantillons de sol ont été tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm, permettant de séparer les particules grossières de la fraction fine du sol. La terre fine obtenue a ensuite été conditionnée dans des sachets plastiques et envoyée au laboratoire pour des analyses physico-chimiques détaillées. Ces analyses ont été réalisées au Laboratoire de chimie analytique de l'Institut National de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles (IRSEN) à la Cité scientifique de Pointe-Noire. Les analyses ont été faites selon les normes des protocoles de [16]. Ainsi, tous les échantillons du sol ont été séchés à l'air ambiant et tamisés manuellement pour déterminer le poids des Éléments Grossiers (EG, fraction > 2 mm) en pourcentage du poids total du sol et celui des éléments fins (fraction < 2 mm). La texture du sol a été faite par la méthode de la pipette de ROBINSON. Le pH eau, le pH KCl, le carbone organique (C) en pourcentage du sol et le phosphore assimilable (Pass) en mg/kg de sol ont été mesurés sur la terre fine. Le pH eau a été mesuré avec un pH-mètre selon la méthode électrométrique avec un rapport sol/eau de 1/2,5. Le pH KCl a été déterminé de la même manière en utilisant une solution de chlorure de potassium. La matière organique par la méthode WALKLEY-BLACK, et le phosphore assimilable par la méthode de DABIN. Le carbone et azote totaux ont été mesurés par la méthode de KJELDAHL.

### ***2-2-2. Collectes et analyses des données***

La collecte des données a été effectuée à toutes les phénophases du plant de haricot. Durant la collecte, il a été suivi et évalué les variables de croissance et de rendement durant tout le cycle de développement. Il a consisté à faire les mensurations hebdomadaires sur les variables de croissance tels que le diamètre au collet, la hauteur de la tige, le nombre des feuilles et les variables de production ou de rendement (nombre de fleurs/plant, nombre de gousses/plant, longueur et largeur des gousses, nombre de graines/gousse, poids de 100 graines). Le diamètre au collet est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse manuel chaque semaine jusqu'à ce que le diamètre ne varie plus. La hauteur de la tige est au départ prise avec un double décimètre puis avec un double décimètre lorsque la longueur devient importante. Le nombre des feuilles était compté chaque semaine en partant des premières feuilles simples qui viennent juste après les feuilles cotylédonaire jusqu'à la sénescence pendant vingt semaines. Les variables de rendement ont porté sur la date de début de la floraison et le nombre des fleurs par pied. Aussi, il a été noté la date de nouaison, le nombre des gousses par pied, la longueur et la largeur de la gousse et en fin le nombre de graines par gousse. La date du début de la floraison a été enregistrée dès l'apparition effective des premiers boutons floraux. Le nombre des fleurs par plant a été compté hebdomadairement sur les plants sélectionnés. Le début de la nouaison a été marqué par l'apparition de la première gousse suite à la chute de la corolle. Le suivi phénologique s'est achevé par la récolte et la pesée de 100 graines, réalisée à l'aide d'une balance à précision. Les logiciels SPSS version 22.0 et CANOCO 4.5 ont été utilisés pour les analyses statistiques des données collectées. Les analyses de variance ont porté sur la valeur moyenne des variables de croissance et de rendement. La comparaison entre les moyennes a été faite par le test de Newman-Keuls au seuil de 5 %. La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a été réalisée pour classer les localités par affinité et identifier des groupes homogènes. Avec le logiciel CANOCO 4.5, il a fait l'analyse multivariée pour déterminer les corrélations entre les variables de croissance, de production et les variables pédo-climatiques. Pour normaliser la distribution, la transformation en  $\log(x+1)$  a été faite pour les variables de croissance et de production, en  $\ln(x+1)$  pour les variables pédo-climatiques et en  $\arcsin\sqrt{x}$  pour les données en pourcentage.

L'Analyse Canonique de Redondance (ACR) a permis la distribution des localités selon les variables, avec test de Monte Carlo pour sélectionner les variables explicatives. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisé pour l'Analyse des localités selon les variables pédo-climatiques en condensant les variables corrélées en un nombre réduit de variables indépendantes. Ces méthodes ont permis d'évaluer les similarités entre localités, d'identifier des groupes homogènes et de comprendre les relations entre les variables de croissance, de production et environnementales. La CHA réalisée avec SPSS 22.0 classe les localités en fonction de leurs parcelles, visualisant des groupes homogènes et les relations entre différents facteurs.

### 3. Résultats

#### 3-1. Phénologie de plant de haricot dans trois localités productrices du Congo

La description des stades phénologiques de croissance des cultivars de *Phaseolus vulgaris* L. cultivés dans les trois localités productrices a été consignée dans le **Tableau 2**. Cette phénologie a permis de situer dans le temps quatre phases de développement, notamment : la phase végétative (la germination, l'élongation végétative), la phase reproductrice (l'éclosion des bourgeons, la floraison), la croissance et la maturation (développement du fruit) et la sénescence des cultivars de *Phaseolus vulgaris* L. cultivés dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémié. La levée a lieu 4 jours après le semis (JAS). L'émergence de la 1<sup>re</sup> paire de vraies feuilles a été observée à 7 après le semis (JAS). Les premiers boutons floraux sont apparus à 30 JAS avec une durée de développement de deux semaines. L'épanouissement floral a débuté à 34 JAS et s'est prolongé sur une période de deux semaines. La nouaison, survenant au plus tard à 38 JAS, s'est étendue sur trois semaines. La maturation des capsules, caractérisée par le jaunissement et une chute accrue de feuilles, a commencé à 63 JAS et s'est poursuivie pendant deux semaines. Enfin, le dessèchement et éclatement de gousses mûres ont été observés entre 80 à 90 JAS, avec une durée maximale d'une semaine. La floraison et la nouaison du haricot s'effectue de façon étalée au cours de son cycle végétatif durant une période plus ou moins trois semaines de relancement des fleurs et qui poursuit leur nouaison.

**Tableau 2 : Phénophases des cultivars nains dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémié**

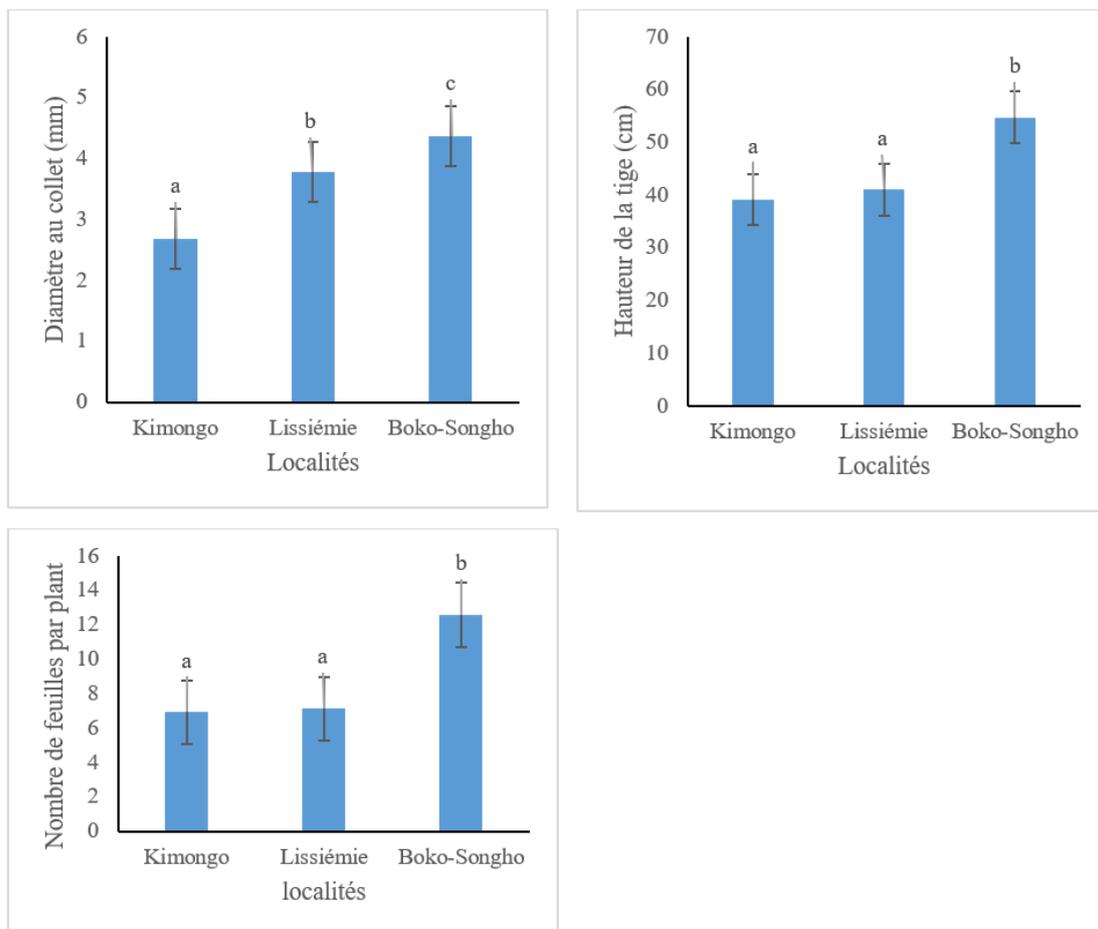
Stades phénologiques	Jour Après Semis	Durée (semaine)
Levée	4	1+
Émergence 1 <sup>re</sup> paire de vraies feuilles	7	1+
Premiers boutons floraux	30	2+
Épanouissement floral	34	2+
Nouaison	38	3+
Maturité des capsules (jaunissement et chute de feuilles accrues)	63	2+
Dessèchement et éclatement de capsules mûres	80 à 90	1+

La phase végétative a débuté par la germination et se terminée avant l'émergence des boutons floraux. Elle a duré 30 JAS (**Tableau 2**). La phase reproductrice a débuté dès l'apparition des premiers boutons floraux à l'aisselle des feuilles. Celle-ci a duré 30 JAS pour ce cultivar nain. Ces boutons ont émergé à partir du 30<sup>e</sup> JAS. Une semaine après, ces boutons ont éclaté et les premières fleurs encore closes, ont été visibles du 30<sup>e</sup> au 46<sup>e</sup> JAS, et elles se sont ouvertes 3 jours après. La croissance des gousses a débuté à partir du 38<sup>e</sup> JAS et s'achève au 63<sup>e</sup> JAS lorsque les gousses atteignent 90 % de leur développement ; puis débute leur maturation. La véraison a lieu à partir du 79<sup>e</sup> JAS. Les fruits sont passés de la couleur vert-sombre à la couleur jaunâtre. A 80 et 90 JAS, le fruit a été totalement mûr. La sénescence est la phase qui suit immédiatement la maturation. Elle s'est manifestée par le déverdissement très prononcé de la tige et des feuilles. Celles-ci ont passé de la

couleur verte à la couleur jaune pâle. Il s'ensuit l'abscission des feuilles qui a indiqué le meilleur moment de la récolte c'est-à-dire au 90<sup>e</sup> JAS (**Tableau 2**). Les produits de la récolte se font manuellement et cueillis avec les pédoncules. Ceux-ci ont été ensuite mis dans les sacs en plastiques depuis le champ puis stockés avant extraction des graines de leurs gousses par le battage. Au terme de cette étude, il est apparu que la durée du cycle de production de haricot nain est de 90 jours. Cette étude a permis de situer dans le temps ses différents stades de développement.

**3-2. Évaluation de variable de croissance des plants de haricot dans les trois localités productrices**

La **Figure 2** illustre les variables de croissance des plants de haricot dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémie. Pour la vigueur, les plants de haricot dans la localité de Boko-Songho ont présenté un diamètre au collet plus élevé de 4,36 mm. Ce diamètre a été plus important comparé à 3,77 mm et 2,68 mm enregistrée sur les plants des localités de Lissiémie et Kimongo. Pour la hauteur de la tige, il a été montré une bonne croissance de plants dans la localité de Boko-Songho. Il a été noté une longueur plus élevée de 54,68 cm. Cette hauteur a été moins élevée de 39,11 cm à 40,98 cm observée sur les plants du haricot respectivement des localités de Kimongo et Lissiémie. Le nombre de feuilles était plus élevé dans la localité de Boko-Songho. Il a été dénombré 13 feuilles par plant. En revanche, 7 feuilles par plant ont été dénombrées dans les localités de Kimongo et Lissiémie.

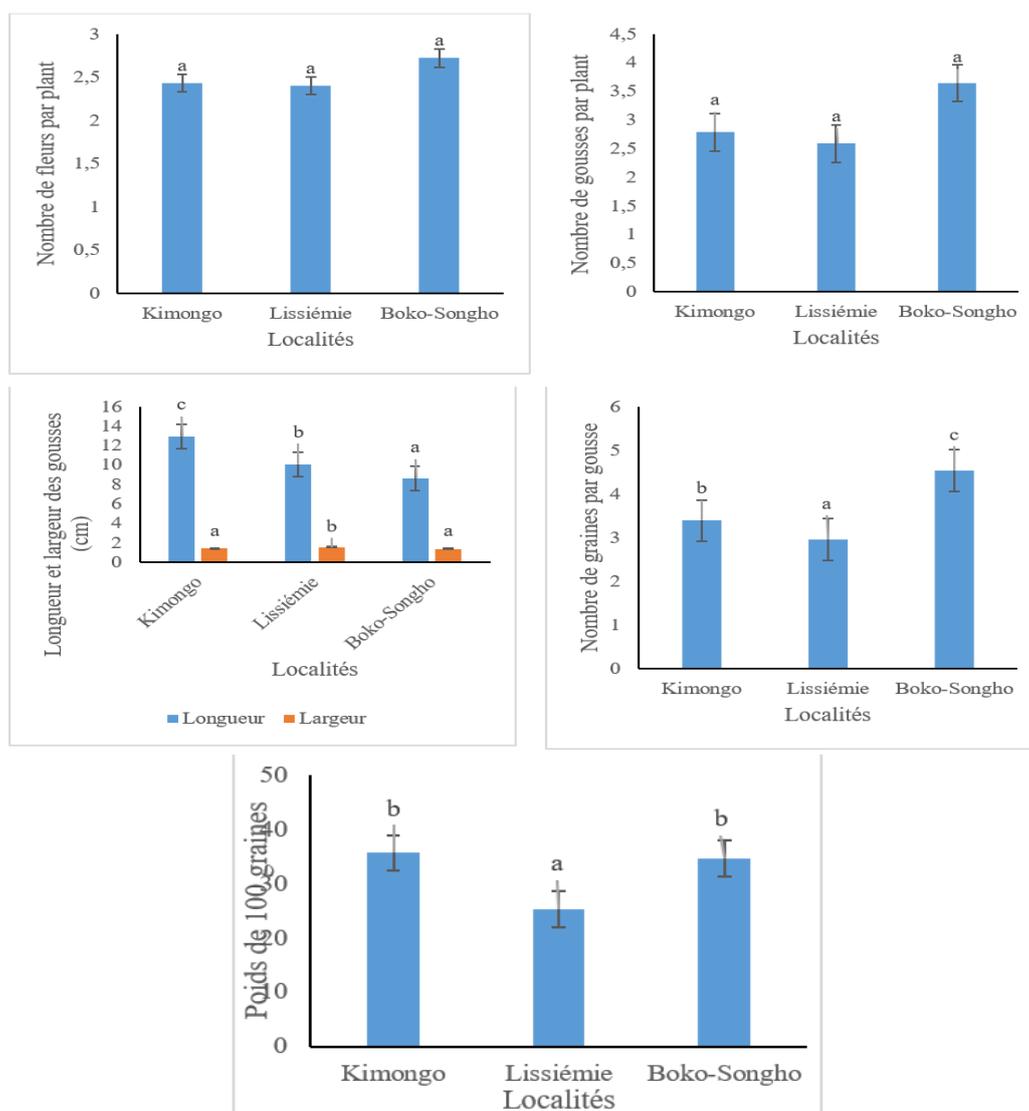


**Figure 2 : Variables de croissance végétative de plants de haricot dans les localités productrices**

Les histogrammes surmontés de la même lettre correspondent aux moyennes statistiquement identiques selon le test de Newman-Keuls au seuil de risque de 5 %.

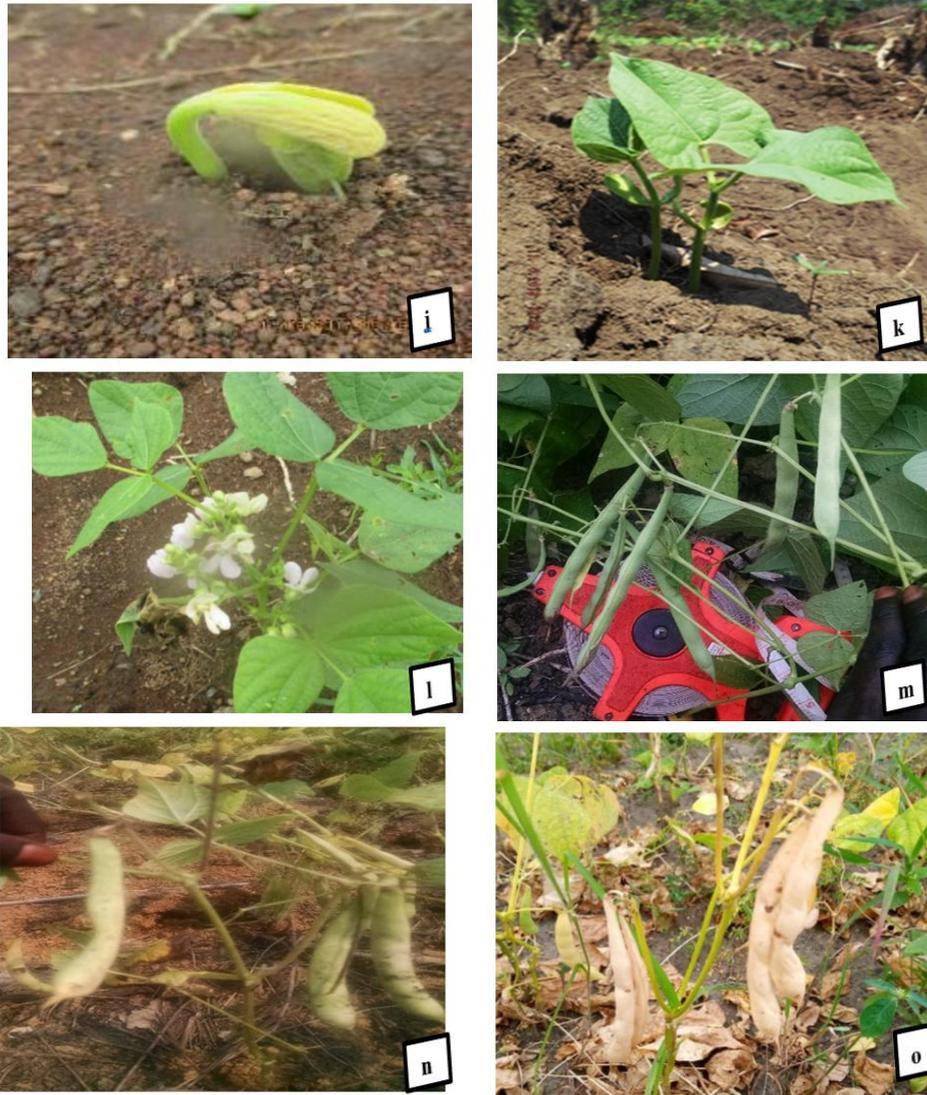
### 3-3. Évaluation de variables de rendement des plants de haricot dans les trois localités productrices

La **Figure 3** illustre les variables de production des plants de haricot dans les localités Kimongo, Boko-Songho et Lissiémie. Les résultats n'ont révélé aucune variation du nombre de fleurs et gousses dans les trois localités. Le nombre a varié entre 2 et 3 fleurs par plant respectivement dans les localités de Kimongo, Lissiémie et de Boko-Songho. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative entre le nombre de gousses et localité ( $p$ -valeur = 0,000 < 0,05). Il a été dénombré 4 gousses par plant dans la localité de Boko-Songho. Ce nombre était de 3 dans les localités de Kimongo et Lissiémie. Concernant les dimensions des gousses, il a été montré que la localité de Kimongo a présenté une longueur plus importante de 12,92 cm. La longueur plus faible s'était manifestée dans la localité de Boko-Songho de 8,67 cm. Pour le diamètre de la gousse, la localité de Boko-Songho a présenté une moyenne la plus faible de 1,42 cm. En revanche, la plus forte était remarquée dans la localité de Lissiémie de 1,59 cm. S'agissant du nombre de graines par gousse, l'analyse de la variance révèle une différence significative pour la variable nombre de graines par gousse. Le nombre de graines par gousse a varié entre 3 et 4 dans les localités de Lissiémie et Kimongo. Ce nombre était de 5 graines par gousse chez les plants de la localité de Boko-Songho. Il était noté 35,67 g et 34,64 g le poids de 100 graines respectivement sur les plants dans les localités de Kimongo et Boko-Songho. Ce poids était plus important comparé à 25,24 g enregistré dans la localité de Lissiémie.



**Figure 3 :** Variables de rendement de haricot en fonction des localités

Les histogrammes surmontés de la même lettre correspondent aux moyennes statistiquement identiques selon le test de Newman-Keuls au seuil de risque de 5 %.



**Figure 4 :** *Stades phénologiques au cours de la croissance et de rendement de haricot : levée(i), stade deux feuilles (k), stade de la floraison(l), stade de fructification (m), stade de maturité (n) et stade de maturité très avancée ou senescence (o) (DIANGA 2019)*

### 3-4. Composition pédologique des sols des différents sites expérimentaux

Les résultats des sols des différentes localités d'étude (*Tableaux 3 et 4*) montrent une texture limoneuse dans la localité de Lissiémie et argileuse dans la localité de Kimongo et la Lissiémie. Le pH des sols était légèrement acide dans presque toutes les localités étudiées. Une bonne teneur en azote et en matière organique a été observée dans l'ensemble des échantillons. Les sols des localités de Lissiémie et de Boko-Songho se distinguent par une richesse en carbone, tandis qu'une forte occurrence d'azote a été spécifiquement observée dans le sol de la localité de Lissiémie. Par ailleurs, des sols ferrugineux ont été identifiés dans les localités de Kimongo et de Lissiémie. Enfin, le sol de Kimongo se caractérise par une teneur élevée en phosphore. Les sols de Lissiémie et Boko-Songho contiennent une forte teneur en calcium. Les sols de Lissiémie et de Boko-Songho sont riches en magnésium et en carbone organique.

**Tableau 3 : Caractéristiques granulométriques des sols de trois sites expérimentaux**

Référence échantillons	Arg (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)	Hum (%)	MO (%)
Kimongo	33,83	26,07	5,03	12,13	15,17	2,75	5,14
Lissiémie	24,34	49,29	4,014	6,08	2,31	4,99	10,39
Boko-Songho	17,59	26,62	6,89	22,41	14,14	3,46	8,76

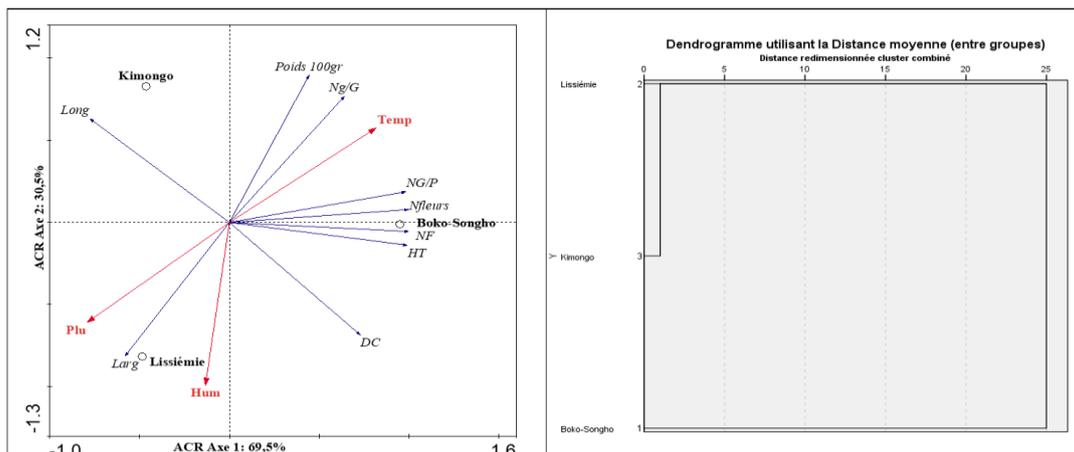
*Arg : argile ; LF : limon fin ; LG : limon grossier ; SF : sable fin ; SG : sable grossier ; Hum : humidité du sol ; Mo : matière organique.*

**Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des sols de trois sites expérimentaux**

Référence échantillons	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C (%)	N (%)	P (%)	Fer (%)	Ca (%)	Mg (%)
Kimongo	5,53	4,78	3,03	0,22	0,05	2,56	0,13	0,03
Lissiémie	6,61	6,03	6,03	0,45	0,02	1,54	0,39	0,07
Boko-Songho	6,16	5,41	5,13	0,30	0,01	0,61	0,29	0,05

### 3-5. Répartition des localités en fonctions des variables biologiques et climatiques

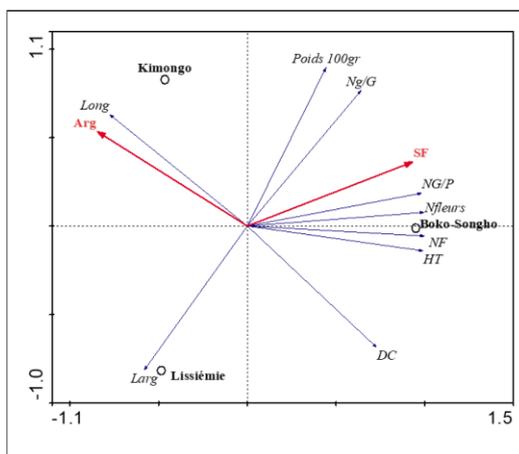
La distribution des localités en fonction des variables biologiques et climatiques a été révélée en utilisant l'Analyse Canonique de Redondance (ACR). Les résultats montrent une corrélation entre les variables de croissance et de production et les variables climatiques en fonction des localités. L'analyse la **Figure 3a** a révélé que sur les deux axes (Axe 1 : 69,5 % et Axe 2 : 30,5 %) expliquent 100 % de variance cumulée des données des variables, avec une corrélation marquée entre les variables de croissance, de production et les variables climatiques pour les deux axes. Les localités ont été groupées en trois catégories en relation avec les deux axes : le groupe 1 regroupe la localité de Boko-Songho, corrélé positivement avec l'axe 1 et influencé par la température. Le groupe 2 correspond à la localité de Kimongo, corrélée négativement avec l'axe 1 et influencé négativement par la température. Enfin, le groupe 3 comprend la localité de Lissiémie, corrélée négativement sur l'axe 2 et influencé négativement par la température, tout en étant positivement corrélée avec la pluviométrie et humidité relative. L'humidité n'a pas montré de différence significative entre toutes les localités. La classification des localités selon les variables de croissance, de production et climatiques (**Figure 3b**) a permis de distinguer deux classes pour une distance redimensionnée cluster combinée de 5 : C1, regroupant les localités de Lissiémie et de Kimongo, et C2, regroupant la localité de Boko-Songho.

**Figure 5a : Répartition des localités et des variables biologiques en fonction des paramètres climatiques****Figure 5b : Classification hiérarchique des localités en fonction des variables biologiques et climatiques**

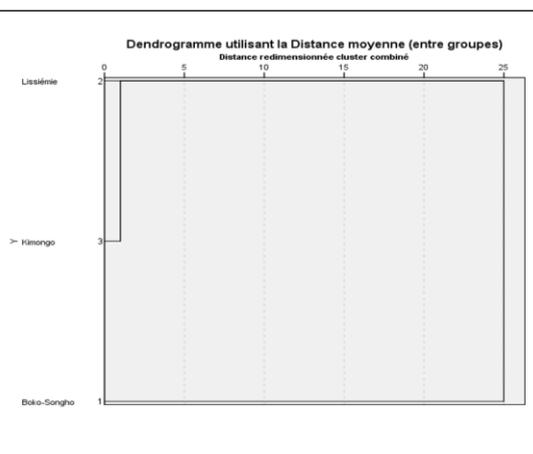
*Long : longueur de gousses ; Larg : largeur de gousses ; Poids 100 gr : poids de 100 graines ; NG/P : nombre de gousses par plant ; Ng/G : nombre de graines par gousse ; Nfleurs : nombre de fleurs par plant ; NF : nombre de feuilles par plant ; HT : hauteur de la tige ; DC : diamètre au collet.*

### 3-6. Répartition des localités en fonction des variables biologiques et pédologiques

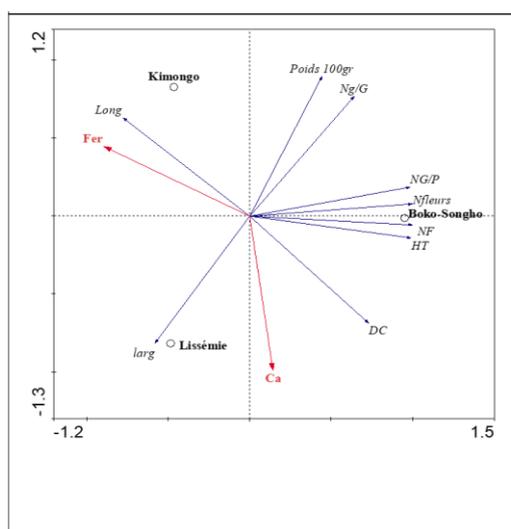
On entend par variables biologiques, toutes variables liées aux plantes notamment les variables de croissance et de production. La ACR avec sélection préalable a permis de sélectionner 2 variables granulométriques et 2 variables chimiques significatives. L'analyse des **Figure 4a et Figure 5a** a montré que les localités sont réparties en deux groupes en relation avec les deux axes. En ce qui concerne la granulométrie, le groupe 1 (C1) regroupe la localité de Boko-Songho, corrélée positivement avec l'axe 1. Cette localité est influencée par la variable sable fin (SF) et corrélée négativement avec la variable Argile (Arg). Le groupe 2 (C2) représenté par les localités de Kimongo et Lissémie. Il a été corrélé négativement sur l'axe 1. Ce groupe était influencé par la variable du sol sable fin (SF) et corrélé négativement sur l'axe 1. Cet axe était influencé par la variable du sol SF mais corrélé positivement avec la variable argile (Arg) sur l'axe 2. Concernant les éléments du sol, le groupe 1 (C1) regroupe la localité de Boko-Songho corrélé négativement avec l'axe 1 et influencé par la variable fer. Le groupe 2 (C2) était représenté par les localités de Kimongo et Lissémie. Il était corrélé négativement sur l'axe 1 et influencé par la variable du sol fer. Cependant, Kimongo était corrélé positivement sur l'axe 2 qui est influencé par la variable du sol calcium (Ca) mais corrélé positivement avec la variable fer sur l'axe 2.



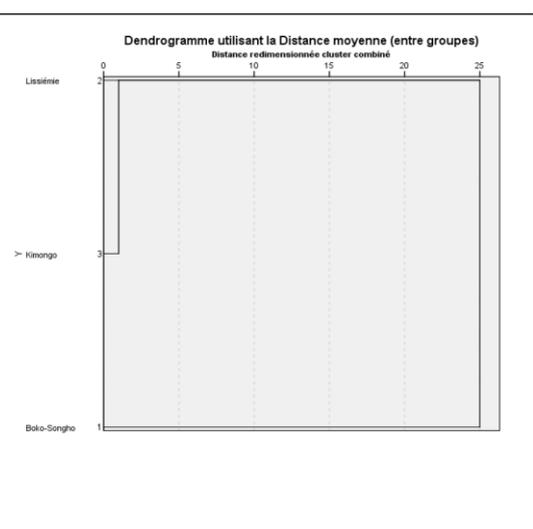
**Figure 6a :** Répartition des localités et des variables biologiques en fonction des caractéristiques granulométriques du sol



**Figure 6b :** Classification hiérarchique des localités en fonction des variables biologiques et des caractéristiques granulométriques du sol



**Figure 7a :** Répartition des localités et des variables biologiques en fonction des caractéristiques minéralogiques du sol



**Figure 7b :** Classification hiérarchique des localités en fonction des variables biologiques et des caractéristiques minéralogiques du sol

## 4. Discussion

Cette étude a permis l'identification des variables pédoclimatiques affectant les phénophases et la production du haricot dans les trois localités productrices du Congo. Pour les stades phénologiques, les variétés naines et semi-volubiles sont les préférées dans ces zones en raison de leur facilité d'entretien et de récolte selon les agriculteurs. Les résultats obtenus au cours de cette étude ont montré que les paramètres de croissance et de rendement sont influencés significativement par les paramètres pédoclimatiques considérés.

### 4-1. Phénologie de plant de haricot dans trois localités productrices du Congo

Elles ont un cycle végétatif de 80 à 90 jours. C'est un cycle court. Une fourchette similaire a été mentionnée, selon les variétés dans un climat chaud, par [17]. Cette précocité du cycle du haricot nain était rapportée par [18]. La précocité des variétés naines du haricot cultivées dans les trois localités était similaire à celle du niébé. Sur le niébé, la maturité est atteinte environ 85 jours après le semis [19]. En revanche, il a été décrit un cycle complet pour le haricot nain s'étendant de 75 à 130 jours [20]. Pour les cultivars volubiles, il était rapporté le cycle plus tardif, entre 92 et 111 jours [21].

### 4-2. Évaluation de variable de croissance et de rendement des plants de haricot dans les trois localités productrices

Pour les mensurations, une bonne croissance végétative des plants du haricot était notée dans la localité de Boko-Songho. Les plants de cette localité ont été plus vigoureux (0,43 cm), une bonne hauteur de la tige (54,69 cm) et bon dégagement foliaire (13 feuilles/plant). Cette performance végétative de plants serait due d'une part, aux conditions climatiques. Durant la période d'étude, la localité de Boko-Songho a bénéficié d'une bonne pluviosité, une température relative faible et une faible humidité relative comparée aux localités de Kimongo et Lissiémié. Dans ces deux dernières localités, le déficit hydrique résultant de la faible pluviosité pourrait impacter sur la croissance végétative de plants du haricot. Des observations analogues ont été signalées par [22]. Avec les variables climatiques, il a été établi une corrélation positive entre la localité de Boko-Songho avec l'axe 1. Cette corrélation s'est traduite par une prépondérance de la température. La température favoriserait la croissance végétale de plants de haricots dans la localité de Boko-Songho. Cet effet de la température a été rapporté par [23]. Ces auteurs ont mentionné qu'il y a une relation entre la longueur de la plante et l'intensité des caractères volubiles. Elle se manifeste sous des températures constantes favorisant une croissance rapide, comprise entre 20° à 27°C. Une élévation des températures dans cette plage conduit à une augmentation de la longueur des tiges et à une intensification des caractères volubiles. Au contraire, lorsque les plantes sont exposées à des températures extrêmes élevées (30°C à 34°C), une dissociation est observée entre la croissance en longueur des tiges et le développement des caractères volubiles. Excepté le nombre de fleurs et gousses, les plants de haricot des localités de Boko-Songho et Kimongo se sont révélés plus productifs. Dans ces localités, une production moyenne de 4 et 5 graines par gousse a été enregistrée. Par ailleurs, le poids de 100 graines de haricot a atteint des valeurs élevées, respectivement 34,65 g et 35,68 g pour les plants des localités de Boko-Songho et de Kimongo. Le bon rendement observé dans ces localités s'expliquerait par les conditions climatiques favorables. Parmi ces conditions, la température semble jouer un rôle déterminant en influençant positivement le nombre de graines par gousse ainsi que le poids de 100 graines de haricot dans la localité de Boko-Songho. Cette variation de rendement de haricot dans les différentes localités pourrait être due au patrimoine génétique des différentes variétés utilisées en favorisant ou en défavorisant l'une ou l'autre variété utilisée dans les conditions édaphoclimatiques de nos milieux d'étude. Ce constat a également été observé par [24]. En effet, celui-ci a non seulement trouvé que, différents génotypes pouvaient induire des différences de rendement hautement significatives ( $p < 0,001$ ), mais aussi,

le rendement d'un même génotype était significativement influencé par le milieu et même les différentes dates de semis. Dans la localité de Kimongo, une corrélation négative a été observée avec l'axe 1, et elle influencée négativement par la variable température. Dans cette localité, les précipitations et l'humidité relative contribueraient à l'amélioration de la production de plants de haricot. Des résultats similaires ont été rapportés par [25], mettant en évidence que le déficit hydrique, comme démontré dans plusieurs études, a un effet néfaste sur le rendement de production du haricot [25, 26]. [25] ont montré que le stress thermique a affecté le rendement de 25 génotypes de haricot de type mésoaméricain. Cependant, la localité de Kimongo a présenté les meilleures longueurs et largeurs des gousses sur les plants de haricot. En revanche, localité de la Lissiémié corrélée négativement sur l'axe 2 et influencée négativement avec la variable température et positivement avec la pluviométrie et humidité relative. Dans cette localité, les précipitations et humidité relative n'auraient permis le remplissage des graines dans les gousses et d'obtenir les grosses graines pour améliorer le poids de 100 graines. Cet effet a été décrit par [27]. Outre les conditions climatiques, la nature limono-sable de la localité de Boko-Songho favoriserait la croissance végétative et la production. Dans cette localité, il était influencé par la variable sable fin (SF) et corrélé négativement avec la variable argile (Arg). Ainsi, la forte occurrence du carbone et la nature limono-sable permettraient une bonne productivité de haricot dans la localité de Boko-Songho. Dans la localité Boko-Songho, la culture de haricot s'effectue dans les pentes légères. La nature du sol permettant l'infiltration des eaux pluvieuses favoriserait la bonne croissance végétative partant le rendement. Les observations similaires ont été faites par [28, 29]. Pour ces auteurs, la texture limono-sableuse du sol, associée à une bonne gestion de l'eau, favorise le développement des cultures de haricot en assurant une rétention d'eau adéquate et une aération du sol. La localité de Kimongo a une structure de sol à dominance argilo-sableux et corrélée négativement avec l'axe 1. Cette structure est influencée par le sable argileux et une prédominance de fer. Un sol riche en argile, en sable grossier et en fer augmenterait la production végétative et le rendement [22, 30]. Concernant la localité de Lissiémié, le sol est particulièrement riche en matière organique, en humus et en limon fin. Cependant, les plantes y ont montré une productivité inférieure par rapport aux autres localités. Les éléments du sol de cette localité sont corrélés négativement avec l'axe 2, lequel est influencé par le calcium. Hormis la richesse en matière organique, les variations de production ont été relativement faibles. Ceci serait dû à la date de semis (semis tardif), au déficit hydrique et à l'exposition au soleil [31, 32]. Il est bien connu que le rendement d'une culture est la résultante de l'interaction plus ou moins favorable du milieu environnemental (climat, sol, milieu biologique) et du potentiel génétique de la plante [33]. La différence entre le rendement des variétés et ceux trouvés dans d'autres régions du monde pour ces variétés s'expliquerait par le fait que les conditions climatiques et édaphiques ne sont pas les mêmes [34].

## **5. Conclusion**

L'étude a permis d'identifier les principales variables pédoclimatiques influençant la productivité du haricot dans les localités de Kimongo, Boko-Songho et Lissiémié. Le cycle cultural des variétés étudiées est de 90 jours. Une croissance végétative optimale a été observée à Boko-Songho, attribuée à une pluviosité adéquate, une faible température relative et une humidité modérée. En revanche, une croissance limitée a été notée à Kimongo et Lissiémié, caractérisées par une faible pluviosité. Les précipitations et l'humidité relative à Kimongo, ainsi que la température modérée à Boko-Songho, ont positivement influencé le rendement des plants. Par ailleurs, les sols sablo-limoneux riches en carbone à Boko-Songho et argilo-sableux riches en fer à Kimongo ont favorisé la croissance et le rendement des variétés cultivées. Ces résultats confirment l'importance des interactions sol-climat pour optimiser la productivité du haricot et fournissent des indications précieuses pour une gestion adaptée des cultures selon les spécificités locales.

## Références

- [1] - N. ALEXANDRATOS and J. BRUINSMA, World agriculture towards 2030/2050 : the 2012 revision. ESA Working paper, Rome, FAO, N° 12-03 (2012)
- [2] - B. M. CAMPBELL, S. J. VERMEULEN, P. K. AGGARWAL, C. CORNER-DOLLOFF, E. GIRVETZ, A. M. LOBOGUERRERO, J. RAMIREZ-VILLEGAS, T. ROSENSTOCK, L. SEBASTIAN, P. K. THORNTON et E. WOLLENBERG, Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security*, (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2016.06.002i>
- [3] - B. M. CAMPBELL, Beyond Copenhagen: REDD plus, agriculture, adaptation strategies and poverty. *Glob. Environ. Change Hum. Policy Dimens*, 19 (2009) 397 - 99
- [4] - W. BROUGHTON, G. HERNANDEZ, M. BLAIR, S. BEEBE, P. GEPTS & J. VANDERLEYDEN, Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) model food legumes. *Plant and Soil*, 252 (1) (2003) 55 - 128
- [5] - M. MINUYE and W. BAJO, Common beans variability on physical, canning quality, nutritional, mineral, and phytate contents. Minuye & Bajo, *Cogent Food & Agriculture*, 7 (2021) 1914376 <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1914376>
- [6] - J. P. BAUDOIN, J. DEMOL, F. CAMARENA, M. LOBO & G. MERGEAI, Breeding *Phaseolus* for intercrop combinations in Andean hingland. In: Cooper H. D, Spillante C. and Hodgking T., (eds.) *Broadening the genetic base of crop*. Oxford, UK: CABI Publishing, (2001) 373 - 384
- [7] - J. GUEGUEN et G. DUC, La filière protéagineuse, quels défis ?, Éditions Quæ, (2008) 147 p.
- [8] - J. HUINGARD et G. I. ADOLE, Les légumineuses alimentaires en Afrique In : Insectes des graines de légumineuses, Quæ, Versailles, France, (2011) 154 p.
- [9] - P. GEERTS, A. TOUSSAINT, G. MERGEAI et J. P. BAUDOIN, *Phaseolus* immature embryo rescue technology. *Methods In Molecular Biology Clifton*, 710 (2011) 117 - 129
- [10] - A. S. KADJIO FEUDJIO, C. B. TCHANA, J. A. AMOUGOU, A. R. BATHA, T. Q. SHEGWE et W. D. YUNGSI, Impacts de la dynamique des paramètres climatiques sur la production des cultures saisonnières (Mais, Haricot et Arachides) dans les Arrondissements de NKONGSAMBA (1983 A 2016). *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, N° 50 (2021) 19 p.
- [11] - A. GHANBARI, S. MOUSAVI, A. GORJI and I. RAO, «Effects of water stress on leaves and Seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) », *Turkish Journal of Field Crops*, 18 (1) (2013) 73 - 77
- [12] - I. YORDANOV, T. VELIKOVA and T. TSONEV, «Plant responses to drought and stress tolerance», *Bulg. J. Plant physiol.*, special issue, (2003) 187 - 206
- [13] - J. P. BAUDOIN, T. VANDERBORGHT, P. M. KIMANI and A. W. MWANG'OMBE, «Grain legumes : Common bean ». In : Ramaeker R. H. ed., *Crop Production in Tropical Africa*. Brussels, Belgium : DGCI (Directorate General for International Cooperation), (2001) 317 - 334
- [14] - E. BARIKISSOU et J. P. BAUDOIN, « Sauvetage d'embryons chez les légumineuses alimentaires en général et dans le genre *Phaseolus* en particulier (synthèse bibliographique) » *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 16, N°2 (2012b) 203 - 215
- [15] - S. BUOL, R. SOUTHARD, R. GRAHAM et P. MCDANIEL, Morphology and Composition of Soils. *Soil Genesis and Classification*, Sixth Edition, (2011A) 35 - 87
- [16] - BUNASOLS, Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, des eaux et des plantes. Document technique BUNASOLS n° 3. Ouagadougou (Burkina Faso), (1987) 162 p.
- [17] - D. LEONARD, M. CHAKROFF, N. DYBUS, M. KAUFMAN et G. FABRE, Cultures traditionnelles de plein champ. TransCentury Corporation, D.C, 20526. Washington, Etats Unis, (1981) 238 p.
- [18] - M. CHINAWAJ, D. MUKAZ and K. I. MUKUNTO, Etude d'adaptation de cinq variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) Biofortifiées sous traitement des régulateurs de croissance. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 21 (2) (2017) 267 - 276

- [19] - L. O. OMOIGUI, A. Y. KAMARA, J. BATIENO, T. IORLAMEN, Z. KOUYATE, J. YIRZAGLA, S. DIALLO and U. GARBA, Guide sur la production du niébé en Afrique de l'Ouest Légumineuse Tropicale III (TLIII), (2017) 67 p.
- [20] - B. LECOMTE, Etude du développement embryonnaire in vivo et in vitro dans le genre *Phaseolus* L. thèse doct. Agron. Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, (1997) 186 p.
- [21] - D. BERRICHI et R. NEGAZA, Etude du comportement de six variétés d'haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) sous serre et avec deux systèmes de conduit : conventionnelle et Agro-écologique. Mémoire de master II. Université Ahmed Draïa Adrar, (2019) 50 p.
- [22] - Y. NKANGU, C. KIESA, A. NGOYI, A. LUZOLO et J. ALONI, Influence du fertilisant organique liquide D.I. GROW (vert et rouge) et du désherbage sur la production en graines du haricot nain (*Phaseolus vulgaris* L.) à Kimpese en République Démocratique du Congo. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 4 (1) (2021) 55 - 61
- [23] - Y. GROSS et J. KIGEL, Differential sensitivity to high temperature of stages in the productive development common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field crops Research*, 36 (1994) 201 - 212
- [24] - K. LUBOBO, M. ILUNGA, MAKI et ANTOINE, Production des variétés de haricot (*Phaseolus vulgaris*) bio fortifié sous engrais verts et fumures minérales dans le Haut-Katanga, INERA, Poster, (2016) 1 p.
- [25] - A. C. LANNA, R. A. SILVA, T. M. FERRARESI, J. A. MENDONÇA, G. R. C. COELHO, A. S. MOREIRA, P. A. M. R. VALDISSER, C. BRONDANI & R. P. VIANELLO, Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under abiotic stresses for breeding purposes. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (31) (2018) 31149 - 31164. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3012-0>
- [26] - Y. EMAM & M. J. SEGHA TOLESLAMI, Crop Yield : Physiology and Processes. First edition. Shiraz University Inc., Shiraz, (2005) 593. (In Farsi)
- [27] - A. S. KADJIO FEUDJIO, C. B. TCHANA, J. A. AMOUGOU, A. R. BATHA, T. Q. SHEGWE et W. D. YUNGSI, Impacts de la dynamique des paramètres climatiques sur la production des cultures saisonnières (Maïs, Haricot et Arachides) dans les Arrondissements de NKONGSAMBA (1983 A 2016). *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, N° 50 (2021) 19 p.
- [28] - A. BATIONO, B. WASWA, J. KIHARA et J. KIMETU, Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa : Challenges and opportunities, Springer, Ed. The Netherlands, (2007) 333 - 344 p.
- [29] - M. BEKUNDA, R. CHIKOWO, L. CLAESSENS, I. HOESCHLE-ZELEDON, J. KIHARA, F. KIZTI, P. OKORO, N. D. SOGNIGBE and C. THIERFELDER, Combining multiple technologies: Integrated soil fertility management. In Bekunda M., Hoeschle-Zeledon I. and Odhong J. (eds), Sustainable Agricultural Intensification : A Handbook for Practitioners in East and Southern Africa. Wallingford : CABI, (2022) 134 - 144 p.
- [30] - D. CHERY, Essai d'adaptation de 9 lignées de haricot noir (*Phaseolus vulgaris* L.) riches en fer à Lalouère, 4<sup>e</sup> section communale de St-Marc, (2016) 38 p.
- [31] - K. M. MUFIND, J. TSHALA UPITE, A. KITABALA MISONGA et L. NYEMBO KIMUNI, Réponse de huit variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) à la fertilisation minérale dans la région de Kolwezi, Lualaba (RDC). *Journal of Applied Biosciences*, 111 (2017) 10894 - 10904
- [32] - O. LIKITI, M. SONGBO, A. LUBOBO KANYENGA et G. MONDE, Essai d'adaptation de cinq variétés de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortifié dans les conditions de basse altitude de Kisangani en République Démocratique du Congo. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 4 (1) (2021) 27 - 34
- [33] - D. CASSEL, O. WENDROTH & D. NIELSEN, Assessing special variability in an agriculture experiment station field : opportunities arising from special dependence. *Agronomy journal*, 92 (2000) 707 - 714
- [34] - M. C. CASINGA, L. T. CIRIMWAMI, E. B. BISIMWA and G. N. MUSHAGALUSA, «The impact of leguminous culture system and sowing dates on the cereal yield in mountainous South-Kivu : Burhale Case», *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 18, N° 2 (2015b) 297 - 303