

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET
PHYSIOLOGIE VEGETALES



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
FACULTY OF SCIENCE
DEPARTMENT OF PLANT
BIOLOGY

**Données de base pour l'amélioration de la
production du piment (*Capsicum annuum*
L.) en zone forestière de basse altitude**

THESE

Présentée et soutenue en vue de l'obtention du Doctorat/Ph.D.
En Biologie des Organismes Végétaux

Par : **SEGNOU**

DEA en Biologie des Organismes Végétaux

Sous la direction de
YOUMBI Emmanuel
Professeur

Année Académique : 2014



<p>UNIVERSITE DE YAOUNDE I FACULTE DES SCIENCES Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques</p>		<p>UNIVERSITY OF YAOUNDÉ I FACULTY OF SCIENCE Division of Programming and follow- up of Academic Affaires</p>
<p>LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS</p>	<p>LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF</p>	

ANNEE ACADEMIQUE 2013/2014

(Par Département et par Grade)

ADMINISTRATION

DOYEN: Paul BILONG, Professeur.

VICE-DOYEN/DPSAA: NJOPWOUO Daniel, Professeur.

VICE-DOYEN/DSSE: DONGO Etienne, Professeur.

VICE-DOYEN/DRC: ESSIMBI ZOBO Bernard, Professeur.

Chef Division Administrative et Financière: NDOYE FOE Marie C. F., Chargée de Cours

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le piment (*Capsicum annum* L.; *Solanaceae*; $2n = 24$) est un légume-fruit tropical qui occupe une place importante parmi les cultures horticoles des zones rurales, urbaines et périurbaines d'Afrique. Les fruits de piment sont consommés à l'état frais, séché ou transformé. Les formes les plus piquantes sont consommées en très petites quantités et considérées comme condiment ou épice pour l'assaisonnement et la stimulation de l'appétit. Le piment est utilisé dans des mélanges d'épices, pour donner du goût à toutes sortes de mets (Grubben & El Tahir, 2004).

Par ailleurs, ce légume africain traditionnel joue un rôle décisif dans la création d'emplois et la génération de revenus, contribuant ainsi de façon significative à la subsistance des populations. Au Cameroun, le piment figure en bonne place parmi les cultures dites de diversification des exportations agricoles (Anonyme, 2000). Qu'il soit frais, séché ou transformé, la demande locale, sous-régionale ou internationale est chaque jour croissante.

La plupart des pays africains ont concentré leurs efforts de recherche sur les cultures vivrières dites «majeures» (maïs, manioc, etc...) ou les cultures commerciales possédant un potentiel d'exportation avéré (café, cacao, etc...). Dans ce contexte, les légumes indigènes africains (à l'instar du piment) ont été systématiquement classés dans la catégorie des «cultures mineures», et cette classification s'est traduite par une certaine marginalisation (Schippers, 2004). Malgré un manque de soutien très net de la part des autorités administratives locales ou des donateurs internationaux, la tendance s'est aujourd'hui clairement inversée.

Le piment s'adapte à la presque totalité des zones agricoles, comprises de 0 m (niveau de la mer) à plus de 2 000 m d'altitude, et des zones arides jusqu'aux plus humides. Sa présence dans des zones agro-écologiques relativement différentes a engendré une diversité morphologique considérable, qui offre de vastes perspectives aux sélectionneurs. Pour le genre *Capsicum*, de remarquables opportunités existent donc, qui permettraient d'améliorer leurs caractéristiques morphologiques, gustatives et par extension commerciales, au profit des consommateurs et des producteurs (Singh et al., 2000). Les premiers obtiendraient des produits de meilleure qualité, et les seconds pourraient au minimum doubler leurs rendements, au profit du marché de consommation et les bénéfiques seraient ainsi partagés.

Malgré l'importance du piment sur le double plan de la création d'emplois et en tant qu'activité génératrice de revenus, cette culture est l'une des plus parasitée du jardin horticole.

Elle est victime de nombreux bio-agresseurs (agents pathogènes et ravageurs) sur les parties aériennes et souterraines de la plante, qui sont responsables de la baisse de l'ordre de 40 % à 50 % des rendements (Black et *al.*, 1993).

Par ailleurs, une fois extraites des fruits, les semences de piment perdent rapidement leur pouvoir germinatif. En raison du rôle considérable que joue cette plante à usage multiple, il est important qu'une attention particulière soit accordée à leur conservation, en vue d'assurer la régénération végétale d'une campagne agricole à une autre, et de constituer un pool de gènes variés pour l'amélioration future de cette culture par les généticiens (Oladiran & Ogunbiade, 2000).

Aussi, la production en Afrique est habituellement mise en œuvre dans de petites exploitations commerciales, sur des parcelles variant de 0,2 à 1,2 ha. La plus grande partie de ces petites superficies est cependant cultivée de façon extensive, dans un système cultural à faibles intrants. Autour de cette filière horticole en pleine expansion au Cameroun, l'augmentation de la production est envisageable, soit par l'accroissement des superficies cultivées, soit en densifiant la production sur des superficies réduites, par des techniques de fertilisation appropriées (Aliyu, 2000).

En vue d'accroître la compétitivité du piment au niveau local, sous-régional et même international, cette étude a pour objectif global de contribuer à l'amélioration en qualité et en quantité de la production du piment au Cameroun. Plus spécifiquement, elle vise à :

- faire la caractérisation morphologique du piment;
- proposer des méthodes appropriées de lutte contre les maladies et ravageurs;
- procéder au test de la viabilité des semences conservées dans différents matériels de conditionnement, et apprécier le développement végétatif des plantules au cours du temps;
- et évaluer l'effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits.

Cette étude permettrait aux exploitants agricoles exerçant dans cette filière horticole, de se doter d'un paquet technologique très pratique en vue de maximiser leurs rendements en production de piments, et de conquérir des parts importantes de ce marché en plein essor. Aux scientifiques, cette étude ouvrirait la voie à une nouvelle ère de la recherche agronomique, celle de la revalorisation des cultures dites «mineures» ou «marginales» et qui, pourtant, pourraient améliorer de façon substantielle les conditions de vie des agriculteurs les plus pauvres, en offrant de nouvelles perspectives à la diversification des exportations agricoles des pays en développement.

CHAPITRE I
REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS

I.1.1 Origine et distribution géographique

Le piment (*Capsicum annum* L.) est la seule des épices traditionnelles qui soit originaire du continent américain (Antilles, Brésil, Pérou, etc...) (Grubben & El Tahir, 2004).

Il serait parti de là pour coloniser les zones tropicales du nouveau monde à l'époque pré-colombienne. Un autre centre de dispersion se trouverait au Mexique, où existe une très grande diversité de cultivars. Le genre *Capsicum* n'est pas connu à l'état sauvage: *Capsicum frutescens* Will., qui est une plante pérenne pouvant vivre 2 à 3 ans, est aujourd'hui domestiqué dans la plupart des régions tropicales, où il est disséminé essentiellement par des oiseaux. Le navigateur Christophe Colomb, lors de son premier voyage en Amérique en 1472, amène en Espagne les premières semences de piments. La longévité et le faible volume des semences favorisent la dissémination rapide du piment dans les zones tropicales et subtropicales du monde après 1492, et trois races locales sont déjà cultivées en Inde à partir de 1542. Les navigateurs espagnols et portugais ont joué un rôle instrumental dans la dissémination du genre *Capsicum* de part le monde (Purseglove, 1984).

I.1.2 Systématique

Le piment (*Capsicum* spp., *Solanaceae*, $2n = 24$) appartient à la famille des Solanaceae. Cette famille renferme environ 75 genres et environ 2000 espèces, constitués d'herbes et d'arbustes en majorité répartis dans la zone tropicale. Les deux espèces cultivées et les plus généralement connues sont:

- *Capsicum annum* L. ($2n = 24$), plante herbacée, généralement annuelle, portant un seul fruit à chaque bourgeon fructifère;

- *Capsicum frutescens* Will. ($2n = 24$), plante arbustive pérenne (2 à 3 ans), portant de petits fruits en grappes à chaque bourgeon fructifère.

Selon les régions, il existe plusieurs variétés au sein de chaque espèce, étant donné qu'elles se croisent facilement pour donner de nombreuses formes intermédiaires (Purseglove, 1984). En général, le piment répond à la taxonomie suivante (Grubben & El Tahir, 2004):

Règne	Plantae (Végétal)
Sous-règne	Tracheobionta (Plantes vasculaires)
Embranchement	Spermaphytes (Plantes à graines)
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Magnoliopsidae
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanaceae
Genre	<i>Capsicum</i>
Espèces	<i>Capsicum annuum</i> L. (2n = 24), <i>Capsicum frutescens</i> Will. (2n = 24), etc.

I.1.3 Biologie des organes de la croissance végétative

Le piment est généralement une plante herbacée. Le port végétatif peut être érigé, compact ou prostré, et fortement ramifié (Fig.2). Il est cultivé comme plante annuelle mais quelquefois comme plante vivace à vie courte dans les jardins familiaux. Le système racinaire est peu pivotant, avec de nombreuses racines latérales.

La tige a une forme irrégulièrement anguleuse à subcylindrique, jusqu'à 1 cm de diamètre de couleur verte à brun-vert, souvent munie de poils mous et de taches violacées près des nœuds. Les feuilles sont alternes, simples, de formes très variables et de couleur vert pâle à vert foncé (Fig. 1). Le limbe est ovale, de dimensions 10 – 16 cm de longueur et 5 - 8 cm de largeur (Grubben & El Tahir, 2004)

I.1.4 Biologie des organes reproducteurs et mode de pollinisation

Chez le genre *Capsicum*, les fleurs apparaissent habituellement en solitaire ou en parfois 2 ou plus au niveau du bourgeon floral situé à l'aisselle de la feuille; la position de l'inflorescence à l'anthèse est pendante, intermédiaire ou érigée (Fig.3). Selon le type de croissance végétative de la plante, elles prennent naissance au niveau des bourgeons terminaux (croissance déterminée), ou à la base de la plante, sous la masse foliaire (croissance indéterminée). La corolle comporte 5 à 6 pétales de couleur blanche, jaunâtre ou verdâtre. Les étamines, comme les pétales, sont au nombre de 5 à 6, soudées chacune à la base d'un pétale.

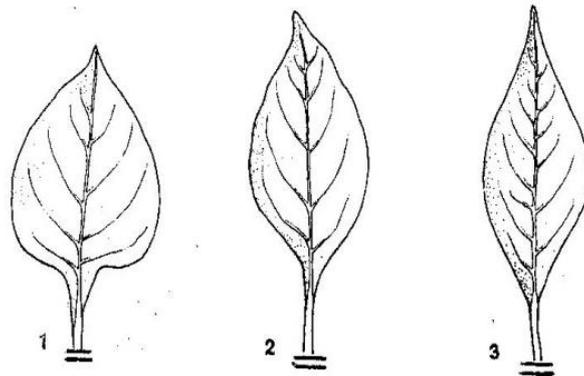


Fig. 1. Les différentes formes de feuilles (FFL) chez le piment (Anonyme, 1995):

1. Deltoïde

2. Ovale

3. Lancéolée

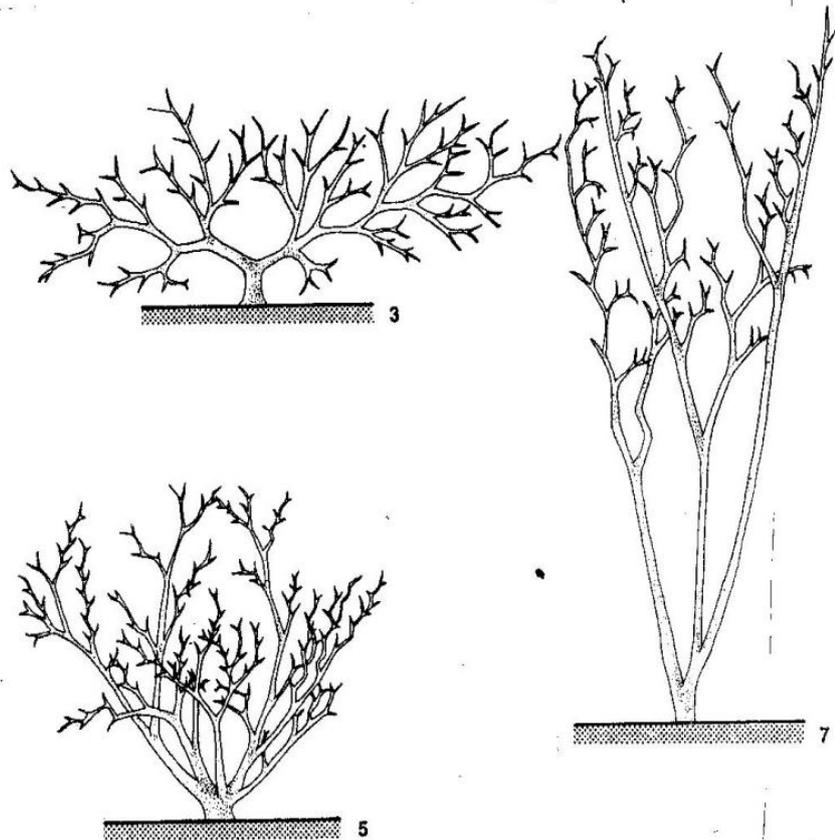


Fig. 2. Les différents ports végétatifs (PV) chez le piment (Anonyme, 1995):

3. Prostré

5. Compact

7. Erigé

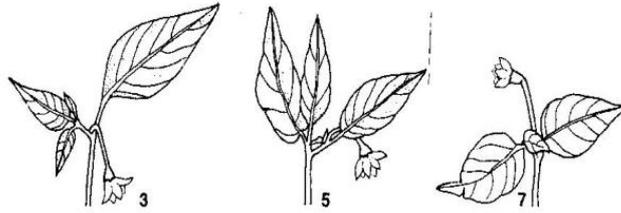


Fig. 3. Les différentes positions de l'inflorescence chez le piment à l'anthèse (Anonyme, 1995):

3. Pendante

5. Intermédiaire

7. Erigée

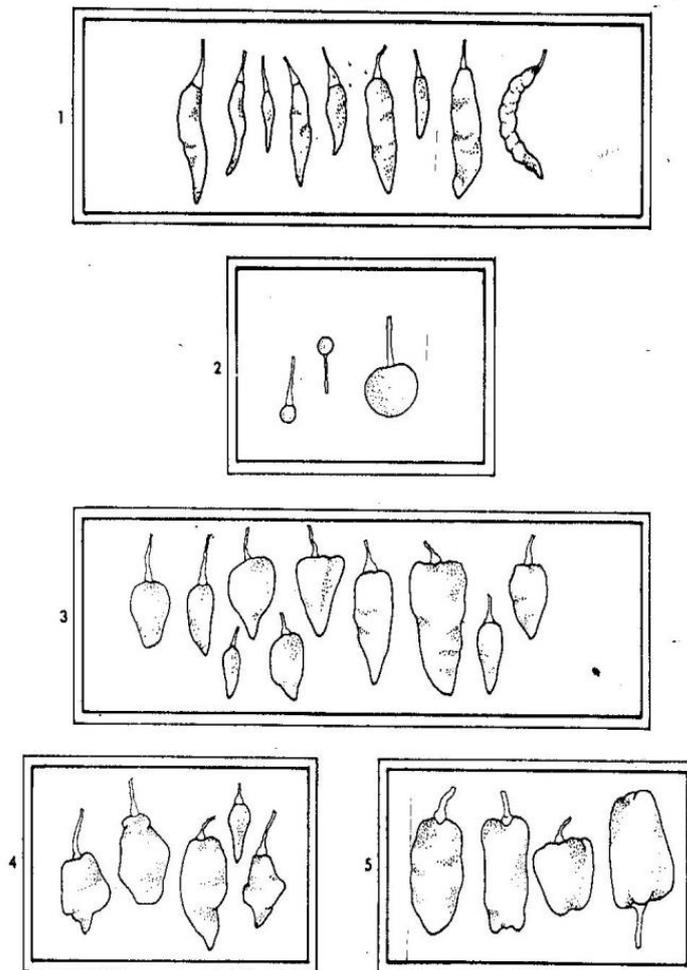


Fig. 4. Les différentes formes de fruits (FFR) chez le piment (Anonyme, 1995):

1. Effilée

2. Presque arrondie

3. Triangulaire

4. Campanulée

5. Tassée

Les anthères sont de couleur bleuâtre, à déhiscence longitudinale. Le style est simple, de couleur blanche ou pourpre, et porte sur l'extrémité apicale le stigmate. L'ovaire est bilobé, mais le nombre de lobes peut augmenter selon les variétés (Purseglove, 1984).

Le fruit est une baie indéhiscente contenant plusieurs pépins. Il est pendant ou érigé, naissant généralement en solitaire aux bourgeons axillaires. Les fruits de piment sont très variables du point de vue taille, forme, couleur, et teneur en capsaïcine (Fig. 4). Le fruit immature est vert, pourpre, noir ou blanchâtre, virant au rouge, pourpre, jaune, orange ou marron à la maturité. Les pépins chez les baies sont orbiculaires, aplatis, de 3 à 5 mm de diamètre et 2 à 4 mm de longueur, de couleur jaunâtre, marron ou noire. La plantule de piment a une germination de type épigée (Purseglove, 1984).

La pollinisation chez le piment est essentiellement entomophile (abeilles, mouches, fourmis, etc...). Les deux modes d'auto-pollinisation et de pollinisation croisée sont rencontrés naturellement chez le genre *Capsicum*. L'anthèse (ouverture du sac pollinique) a lieu peu après l'ouverture de la fleur. Le taux de nouaison varie entre 40-50 % (Anonyme, 1995).

I.1.5 Constitution et gestion des ressources génétiques

Depuis des millénaires, les espèces végétales n'ont cessé de se disperser dans des milieux très variés, bien au-delà de leurs centres d'origine. Ces espèces ont ainsi dû évoluer et s'adapter progressivement à des environnements très variés. Cette évolution a conduit à la formation et à l'expression d'une importante diversité génétique au sein des espèces. La diversité se matérialise au travers d'une grande variété de formes morphologiques et de caractères transmis par voie héréditaire (Anonyme, 1991).

Une part importante de la diversité génétique est indispensable à l'homme qui y recourt pour l'agriculture, l'industrie ou la médecine; il s'agit en fait de véritables ressources dans lesquelles il puise pour répondre à ses besoins actuels et futurs, aujourd'hui difficilement prévisibles. Du fait de leur nature héréditaire, ces ressources sont qualifiées de «ressources génétiques». Leur préservation se fait en conditions naturelles, en milieu traditionnel de culture ou en conditions artificielles, selon les catégories de ressources et l'objectif de conservation (Nahal, 1998).

I.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS DES PIMENTS

En agriculture, le terme ravageur inclue les insectes, acariens, nématodes, micro-organismes pathogènes, animaux vertébrés et mauvaises herbes. Ils ont longtemps coexisté avec les humains comme composantes du système naturel, plus ou moins équilibré. Mais l'homme, dans son désir permanent d'accroître la production agricole, a de plus en plus tendance à rompre cet équilibre. Que ces organismes soient aujourd'hui considérés comme ravageurs ou organismes bénéfiques, dépend de la compétitivité qu'ils entretiennent avec l'homme pour la quête de la nourriture. Différentes espèces d'organismes désignés sous le terme de ravageurs des végétaux affectent la production de nourriture destinée à l'homme de plusieurs manières. L'importance accordée à chaque groupe de ravageurs dépend de la manière dont l'homme perçoit les dommages perpétrés par ce groupe sur l'approvisionnement en nourriture (Semal, 1989).

Par conséquent, la meilleure approche à la gestion des ravageurs est basée sur l'appréciation de l'importance économique des différents groupes, ainsi que les disciplines scientifiques de la protection des végétaux à charge de leur contrôle. Ces disciplines incluent l'entomologie, nématologie, pathologie végétale, malherbologie ainsi que les disciplines alliées telle la zoologie qui étudie les ravageurs vertébrés. L'entomologiste étudie les insectes, les nématologistes les nématodes, tandis que le pathologiste végétal étudie les bactéries, champignons, maladies virales et d'autres désordres végétaux non physiologiques qui affectent les plantes.

I.2.1 Ravageurs du piment

1.2.1.1 Cochenilles

Les cochenilles sont des espèces parthénogénétiques qui, sous les conditions climatiques tropicales, se développent de l'œuf à l'adulte en 33 jours à 27 °C. Les adultes vivent pendant 20 jours environs, période pendant laquelle ils pondent près de 440 œufs, la plupart pendant les 10 premiers jours. Les cochenilles attaquent prioritairement les jeunes pousses qui se déforment. Cette déformation est le résultat de l'injection d'une toxine contenue dans leur salive. Comme symptômes ultérieurs, on note le raccourcissement des entre-nœuds, l'absence de formation des jeunes pousses et les distorsions foliaires. Les plantes attaquées sont significativement affaiblies (James et *al.*, 2010).

La lutte biologique par des lâchers d'ennemis naturels (*Epidinocarsis lopezi*, Hymenoptera, Encyrtidae) est une approche recommandée pour le contrôle de ce ravageur.

1.2.1.2 Aleurodes

Les aleurodes ou mouches blanches (*Bemisia tabaci* Genn.) sont des insectes dont les adultes, les nymphes et les pupes sont identifiables sur la face inférieure des jeunes feuilles. Les adultes sont de petite taille, environ 1 mm de longueur. Il existe un dimorphisme sexuel chez *B. tabaci*, car les mâles sont légèrement plus petits que les femelles. Une femelle de *B. tabaci* peut pondre jusqu'à 160 œufs sur la face inférieure des feuilles de piment pendant son cycle de vie adulte qui dure environ 2 mois. Les œufs éclosent en larves (nymphes) après une semaine. La mouche blanche peut produire 11 à 15 générations au cours de l'année.

Bemisia tabaci cause des dégâts sur les feuilles de la plupart des plantes hôtes, entre autres: piment, aubergine, laitue, gombo, tomate, manioc, etc... Les adultes et les nymphes piquent et sucent la sève des feuilles: les dégâts physiques ne sont pas importants, mais ces derniers injectent des virus, du genre TYLCV (*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*), responsables du jaunissement et des déformations foliaires. En cas d'attaques sévères on assiste à l'avortement floral et la non formation des fruits. Les mouches blanches sécrètent aussi un miellat qui encourage le développement d'une moisissure noire ou fumagine (champignon non pathogène) sur les feuilles et les tiges de la plante, perturbant ainsi l'absorption de la lumière nécessaire à la photosynthèse (Anonyme, 2007a).

1.2.1.3 Mouches de fruits

Les mouches de fruits, chez le genre *Capsicum*, sont des insectes appartenant à l'ordre des Diptères, et à la famille des *Tephritidae*. Ils possèdent une seule paire d'ailes translucides. Sur les 12 espèces de diptères *Tephritidae* qui affectent le piment, on considère les deux plus nuisibles qui sont *Ceratitis capitata* et *Bactrocera invadens* (même si trois autres espèces de *Ceratitis* provoquent également des dégâts d'importance économique sur les fruits de piment). Le cycle de vie de la plupart des espèces de *Tephritidae* est similaire. Les femelles pondent en général dans les jeunes fruits des plantes hôtes, rendus attractifs en arrivant à maturité. Les larves ou asticots se développent à l'abri des traitements chimiques, dans la pulpe du fruit en creusant des galeries (qui sont autant des portes d'entrée des infections secondaires du fruit quand la larve aura quitté le fruit). Le développement des larves accélère la maturation du fruit qui se détache et tombe au sol. Puis les larves quittent le fruit, et les pupes se forment dans les premiers centimètres du sol. L'adulte, après l'émergence, cherchera rapidement à se nourrir afin d'initier une période de maturation sexuelle, de s'accoupler et de pondre, et le cycle recommence (Anonyme, 2007b).

I.2.2 Maladies du piment

Les micro-organismes pathogènes sont des organismes vivants invisibles à l'œil nu. Pourtant, leur présence est facilement décelable lorsqu'ils sont la cause d'une maladie. Ainsi, les champignons, bactéries et virus rentrent dans la catégorie des micro-organismes pathogènes.

I.2.2.1 Maladies fongiques

Au Cameroun, les maladies fongiques les plus redoutables sont la fusariose et le flétrissement bactérien.

L'agent causal de la fusariose est *Fusarium oxysporum* var. *capsici*. Les symptômes sont caractérisés par un léger jaunissement initial du feuillage et un flétrissement des feuilles supérieures qui progresse en l'espace de quelques jours jusqu'à un flétrissement permanent, les feuilles restant attachées au plant de piment. Durant le temps nécessaire à l'expression nette des symptômes, le système vasculaire de la plante se décolore particulièrement au niveau du collet et des racines. Avant la mort des plantes, il n'y a pas de décoloration externe de la tige ou des racines principales. Généralement, la maladie apparaît dans des emplacements bien délimités du champ au sein desquels un grand pourcentage des plants flétrissent et meurent (Black et al., 1993).

Par ailleurs, l'agent causal du flétrissement bactérien est *Pseudomonas solanacearum*. Cette maladie affecte des plantes isolées ou un groupe de plantes dans certaines parties du champ. Le symptôme initial sur les plantes âgées est un flétrissement des feuilles basales, ou des feuilles apicales dans le cas des jeunes plants. Après quelques jours, le flétrissement primaire est suivi par un flétrissement soudain et irréversible de la plante entière parfois accompagné ou non d'un léger jaunissement des feuilles. Le pathogène a un large spectre d'hôtes (piment, tabac, tomate, pomme de terre, aubergine, etc...) et peut survivre dans le sol pendant longtemps.

I.2.2.2 Maladies virales

L'agent causal est le Geminivirus, transmis par la mouche blanche (*Bemisia tabaci*). Les symptômes caractéristiques sont l'enroulement et le jaunissement des feuilles, et un blocage sévère de la plante qui ne grandit plus. Les plantes infectées ont des entre-nœuds

réduits et des feuilles qui sont fortement réduites en taille avec leurs bords relevés (Black et *al.*, 1993).

I.2.3 Appréciation des dégâts et des pertes

La notion de perte ou réduction de la production est souvent difficile à apprécier. Théoriquement, il s'agit de comparer une situation de fait (altérations ou dégâts correspondant à un certain niveau de pertes) à une situation idéale (absence de pertes), qu'il est souvent techniquement difficile de reproduire à grande échelle. L'appréciation des pertes par rapport à une production potentielle théorique se fait expérimentalement en réalisant, à une échelle limitée, des essais de protection totale (effectués indépendamment de leur rentabilité économique ou de leur impact sur l'environnement), qui permettent d'estimer le niveau maximum que peut atteindre une production végétale en l'absence de toute cause nuisible. Les résultats doivent cependant être interprétés avec prudence, étant donnés les risques d'interaction d'un traitement avec divers facteurs concourant à la production (effets sur la physiologie de la plante, effet insecticide des fongicides, effet fongicide des insecticides, etc...) (Semal, 1989).

On peut cependant distinguer les rendements potentiels des rendements réels, et, concomitamment, les pertes potentielles des pertes réelles. Les pertes potentielles sont celles qui seraient subies si on ne faisait aucune intervention en vue de protéger les cultures et leurs produits. Les pertes réelles sont celles qui sont effectivement observées, nonobstant la mise en œuvre des méthodes de protection (James et *al.*, 2010).

I.2.4 Méthodes et stratégies de lutte contre les maladies et ravageurs de piment

I.2.4.1 Historique

Au cours des siècles, les connaissances et les compétences nécessaires pour protéger les cultures contre les maladies et ravageurs ont grandement évolué. Les hommes ont toujours utilisé des produits chimiques botaniques et inorganiques dans leurs efforts de réduire les dommages produits par les ravageurs et les maladies au niveau de leurs cultures. Une percée spectaculaire dans le domaine des traitements phytosanitaires fut obtenue en 1939 avec la découverte de la DDT (Dichloro diphényl trichloroéthane), qui a conduit au développement des pesticides à base d'hydrocarbures chlorés et à base d'organophosphates pendant la seconde guerre mondiale (1939-1945). Leur efficacité remarquable, dans la réduction des

pestes de vies humaines et animales, ainsi que l'augmentation des rendements des cultures ont conduit à des succès commerciaux immédiats aux Etats-Unis et en Europe.

Les entreprises chimiques ont poursuivi la synthèse de quantité de nouveaux composés, en faisant des analyses pour connaître leurs propriétés applicables dans l'utilisation des pesticides. Mais l'utilisation généralisée des pesticides a conduit à la décimation des ennemis naturels, et comme les autres mesures phytosanitaires étaient négligées, les fléaux étaient de plus en plus fréquents. Ainsi un cercle vicieux s'est mis en place, au cours duquel des applications de plus en plus fréquentes et des doses de plus en plus élevées étaient considérées comme étant la réplique incontournable quant à l'apparition des fléaux, «l'engrenage des pesticides».

Les autorités et l'industrie ont donc commencé à reconnaître que les pesticides devaient être mieux ciblés et leur utilisation plus restreinte. Des valeurs seuil d'infestation de ravageurs furent introduites, notamment dans les systèmes et programmes de lutte intégrée contre les ravageurs. Ces mesures comprenaient une réduction du nombre d'applications, le développement des pesticides moins toxiques et plus sélectifs, l'amélioration des formulations et des techniques d'applications, et l'utilisation de pathogènes d'insectes, de phéromones et d'inhibiteurs de croissance.

Du point de vue des tendances actuelles de mondialisation et des accords des échanges internationaux, ces évolutions ont eu des conséquences pour tous les pays, y compris les moins développés. Aujourd'hui, de nouveaux pesticides sont développés continuellement. Avant d'être admis sur le marché, des tests rigoureux sont effectués en vue de leur homologation. Toutefois, les problèmes de santé et d'environnement provoqués par une utilisation et un entreposage irresponsables dans les pays en voie de développement demandent encore une attention continue (Anonyme, 2007c).

I.2.4.2 Définitions

Le terme de pesticide est utilisé pour désigner les produits chimiques agricoles utilisés à des fins phytosanitaires. Un pesticide est donc une substance qui est sensée prévenir, détruire, repousser ou contrôler tout ravageur animal et toute maladie causée par des micro-organismes ou encore des mauvaises herbes indésirables. Les pesticides peuvent agir sur les ravageurs et sur les micro-organismes par le contact direct, l'ingestion, l'inhalation ou par d'autres sortes d'expositions effectives pendant les phases de croissance. Les produits concernés sont les cultures ou les denrées récoltées et/ou stockées (Anonyme, 2007b).

Par ailleurs, les biopesticides consistent en des micro-organismes favorables, qui peuvent être des bactéries, virus, moisissures et protozoaires, des nématodes favorables ou d'autres composés chimiques dérivés des plantes ainsi que des phéromones d'insectes. Les avantages des biopesticides incluent la lutte effective contre les insectes, les maladies des plantes et les mauvaises herbes, aussi bien que la sécurité au niveau de l'homme et de son environnement. Dans certains cas, la résistance aux pesticides et les préoccupations au niveau de l'environnement limitent l'utilisation des pesticides d'origine chimique (Semal, 1989).

L'intervalle pré-récolte fait appel à la rémanence d'un pesticide, qui est la propriété de ce produit phytosanitaire de rester actif pendant une longue période de temps. Il s'agit en fait du nombre de jours qu'il faut attendre entre le dernier traitement au pesticide et la récolte. En effet, après un traitement aux pesticides, un dépôt se forme sur les fruits de piment et peut rester actif pendant un certain nombre de jours. Avec le temps qui passe, le pesticide est décomposé par les effets du vent et des rayons du soleil, ou bien il est lessivé par les eaux de pluies. Pour éviter la présence des résidus de pesticides (toxiques!) sur les fruits, la récolte ne doit pas avoir lieu avant l'échéance de l'intervalle pré-récolte. Cet intervalle varie de trois jours à trois semaines, selon les propriétés physiques et chimiques du pesticide utilisé.

I.2.4.3 Lutte intégrée contre les maladies et ravageurs

I.2.4.3.1 Quelques définitions

Le conseil des experts de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Anonyme, 1966a) définit la lutte intégrée contre les maladies et ravageurs de la manière suivante: «Il s'agit d'un système qui répond aux transformations de la dynamique des populations et de l'écologie qui leur est associée, en imposant des tactiques de lutte aménagée nécessaires pour maintenir les pertes au-dessous des seuils économiques».

La commission de la qualité de l'environnement (Anonyme, 1972), dans son dossier consacré à la lutte intégrée contre les ravageurs, apporte une autre définition: «La lutte intégrée est une approche conjuguant plusieurs méthodes de lutte contre de nombreux ravageurs susceptibles de mettre en péril les cultures. Elle est exclusivement basée sur les techniques de lutte naturelle ainsi que divers procédés mis au point afin de juguler ce fléau (pratiques culturales, maladies spécifiques aux espèces de ravageurs, variétés résistantes, insectes stériles, attractifs, accroissement des populations de parasites et de prédateurs, ou, le cas échéant, application des pesticides».

Van Den Bosch et *al.* (1982) définissent la lutte intégrée ainsi qu'il suit: «La lutte intégrée contre les ravageurs consiste en une stratégie de lutte adaptée aux conditions écologiques. Celle-ci fait surtout intervenir les facteurs de mortalité naturelle, telles que la présence de prédateurs et les conditions climatiques, en essayant de les modifier le moins possible. On ne procédera à l'épandage des pesticides que si le contrôle systématique des populations de ravageurs et les facteurs de lutte naturelle en laissent entrevoir la nécessité. Normalement, un tel programme doit tenir compte de toutes les possibilités de lutte, voire même de non intervention. Il doit évaluer l'interaction potentielle entre les différentes méthodes de lutte, les pratiques culturales, le climat, les autres ravageurs et les cultures en question».

La lutte intégrée se base donc sur l'utilisation de toutes les stratégies adéquates à l'élaboration d'un programme de gestion des populations des ravageurs (et pas d'un programme d'éradication) de façon à éviter des pertes économiques et des effets latéraux indésirables.

I.2.4.3.2 Différentes possibilités de lutte intégrée contre les maladies et ravageurs

I.2.4.3.2.1 Lutte biologique

La lutte biologique est un processus par lequel l'homme utilise des ennemis naturels pour contrôler les ravageurs. Les ennemis naturels utilisés dans la lutte biologique sont spécifiques, étant donné qu'ils se nourrissent uniquement du ravageur visé/considéré. Bien menée, la lutte biologique est peu onéreuse, efficace, permanente et ne provoque aucune altération des facteurs naturels. Par conséquent, elle sera prioritaire dans tout programme de protection des cultures. L'application des pesticides (qui vise l'éradication du ravageur) est contraire aux principes de lutte biologique. Comparée à l'épandage des substances chimiques, la lutte biologique présente de nombreux avantages:

- elle ne provoque aucune pollution: elle ne représente aucun danger pour l'homme, la faune, les organismes non visés ou le sol;
- elle n'affecte ni l'équilibre naturel, ni les autres facteurs écologiques;
- elle assure une lutte permanente;
- elle ne rencontre aucune résistance;
- enfin, elle est généralement plus spécifique.

I.2.4.3.2.2 Lutte culturale

Ce procédé implique la modification des pratiques culturales afin de rendre le milieu naturel moins favorable à la reproduction, la dissémination et/ou la survie des ravageurs; s'agissant des mouches de fruits (*Ceratitis spp.* et *Bactrocera spp.*) en particulier, la pupaison a lieu dans le sol: le labour des premiers centimètres du sol peut ainsi provoquer l'éradication des ravageurs à ce stade de développement, par des blessures physiques, la destruction des résidus végétaux (sources de substances nutritives), dessiccation et exposition aux prédateurs et intempéries. D'autres pratiques culturales telles les périodes de semis, la qualité des semences, la vigueur des plants, la fertilisation minérale et/ou organique et les associations culturales, ont des effets considérables sur l'incidence des ravageurs et la protection phytosanitaire des cultures (Anonyme, 2007c).

I.2.4.3.2.3 Lutte physique et mécanique

Il s'agit de mesures de lutte directes ou indirectes (sans application de substances chimiques) qui permettent d'éradiquer complètement les ravageurs ou de rendre le milieu ambiant défavorable à leur introduction, dispersion, survie et reproduction. Cette méthode se distingue de la lutte culturale par le fait qu'elle ne se limite pas uniquement à la modification des pratiques culturales existantes, mais qu'elle vise de manière spécifique les populations de ravageurs. Parmi les méthodes utilisées, on peut citer la stérilisation du sol à la vapeur (technique largement utilisée en serre pour se débarrasser de nombreux insectes, nématodes et agents pathogènes), grillages, substances adhésives, etc...(Anonyme, 2007c).

I. 2.4.3.2.4 Résistance de l'hôte

L'objectif de l'amélioration génétique des plantes en matière de protection phytosanitaire vise à rechercher des génotypes qui présentent, avec le ravageur ou l'agent pathogène considéré, un rapport d'incompatibilité plus ou moins marqué (concept de résistance) ou qui fournissent une production adéquate au champ, nonobstant l'infection par l'agent concerné (concept de tolérance). La sélection pour la résistance ou la tolérance génétique constitue la méthode de lutte la moins astreignante pour l'agriculteur et la moins polluante. La résistance de l'hôte peut avoir diverses origines:

- les facteurs physiologiques (antibiose) qui sont des composés toxiques au sein des tissus végétaux, qui inhibent l'action des ravageurs ou des micro-organismes;

- les facteurs physiques (résistance morphologique): dans ce cas, les ravageurs ne peuvent attaquer les feuilles pubescentes dotées d'une cuticule trop rigide, les empêchant de se fixer ou de se déplacer (Semal, 1989).

I.2.4.3.2.5 Lutte chimique

La lutte chimique consiste en l'application des pesticides pour tuer, repousser ou réduire les populations de ravageurs qui auraient causé des dommages aux cultures. Il s'agit à proprement parler «d'un mode de décimation des ravageurs par l'emploi des substances chimiques». La lutte chimique est l'option de la lutte intégrée la plus couramment utilisée en horticulture à grande échelle, particulièrement parce que les pesticides agissent rapidement et de ce fait causent une mortalité rapide et massive des populations de ravageurs. La plupart des pesticides ont généralement été conçus pour tuer une gamme variée de ravageurs: on dit qu'ils ont un large spectre de toxicité. Par conséquent, ils sont nuisibles aussi bien aux ennemis naturels, l'environnement, les animaux et les humains.

Par ailleurs, les pesticides conservent leurs traces sur les légumes-fruits après traitement; ces effets résiduels sont de nature à déprécier les produits traités, d'où l'obligation de respecter un délai de quelques jours (intervalle pré-récolte) après le dernier traitement pesticide avant la récolte des produits horticoles traités. Les traitements chimiques sur les produits horticoles devraient aussi être guidés par:

- l'identification correcte des ravageurs sur la plante horticole et son stade de développement au moment des interventions;
- des diagnostics périodiques sur les plantes horticoles en vue de maîtriser correctement la sévérité des dommages causés par les ravageurs;
- le type de préparation phytosanitaire à utiliser;
- la considération des méthodes alternatives de lutte non chimique;
- et enfin, la compatibilité entre l'utilisation des pesticides et le contrôle biologique par les ennemis naturels qui s'est établie dans l'exploitation agricole (James et *al.*, 2010).

I.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES

I.3.1 Définition

Une semence est soit une graine, soit un organe spécialisé de la plante (rejet, tubercule, stolon), soit un fragment de la plante choisi par l'homme (bouture, greffon), qui sert à la production de matériel végétal ressemblant autant que possible au matériel de départ (plante-mère), et exécutée de la façon la plus économique (Boutherin & Bron, 1989). Lorsque la production de matériel végétal a lieu à travers la graine, on parle de multiplication générative ou sexuée; dans les autres cas, la multiplication est dite végétative.

I.3.2 Multiplication sexuée

I.3.2.1 Aspects généraux

On se sert des organes floraux pour produire des semences. Le degré de ressemblance entre la plante-mère et sa descendance dépend de plusieurs facteurs:

Un représentant d'une espèce autofécondée aura un taux élevé d'homozygotie. Les semences qui résultent de l'autofécondation donnent des plantes qui seront pratiquement identiques à la plante-mère;

Un représentant d'une espèce complètement ou partiellement allofécondée aura un taux élevé d'hétérozygotie et sa descendance présentera des caractères variables. Pourtant, chez beaucoup d'espèces annuelles cultivées, on connaît des cultivars bien établis où la variabilité entre les individus est limitée. Pourvu qu'il n'y ait pas de contamination avec du pollen étranger (de la même espèce), les semences récoltées sur un tel cultivar ressemblent parfaitement ce cultivar; pour éviter la contamination avec du pollen étranger, il est indispensable d'isoler les parcelles de multiplication de semences pures ou d'employer le système de *sib mating* produisant des hybrides F1, homogènes (Thomson, 1979).

I.3.2.2 Caractéristiques de la multiplication sexuée

La multiplication sexuée assure la conservation des caractères génériques et spécifiques des plantes; par contre, le rang variétal est hétérogène, sauf les hybrides F1 et les lignées pures (Guzhov, 1989). Elle possède un certain nombre d'avantages: moyen rapide et en général peu coûteux; conservation facile des graines; technique simple et rapide; limitation de maladies (peu de maladies virales se transmettent par la graine); avec peu de pieds-mères, on obtient un grand nombre de semences (coefficient de multiplication élevé), et mécanisation possible dans de nombreux cas.

Du fait de la variabilité des semences, il y a possibilité d'obtenir de nouveaux cultivars, ou des individus qui se sont adaptés à certaines conditions de milieu; on peut aussi améliorer l'espèce en sélectionnant les individus présentant des caractéristiques intéressantes.

Parmi les inconvénients de la multiplication sexuée, il faut noter que la reproduction est très souvent infidèle, et le temps entre la multiplication et la floraison est quelquefois très long.

I.3.3 Quelques rappels biologiques

I.3.3.1 Graine

Les graines sont produites à partir des fleurs qui sont des organes sexués. Elles se forment par suite de la fécondation d'un ovule par un grain de pollen (gamétophyte mâle). Après la fécondation, pendant que l'ovule se développe pour donner la graine, l'ovaire se développe en fruit. La récolte des fruits en vue de la production des semences a lieu lorsque les fruits sont arrivés à maturité. La graine est essentiellement composée:

- de téguments, dont le rôle principal est la protection. Ils peuvent également être responsables de l'inhibition de la germination, permettant ainsi à la semence de se conserver longtemps en conditions défavorables;

- d'un embryon, résultat de la croissance du zygote après fécondation. Cet embryon comprend la radicule (racine), la tigelle (partie de la tige), et la gemmule (tige et feuilles). Il est de taille très variable;

- de réserves nutritives: la plupart de semences possèdent des réserves importantes (légumineuses, céréales). La nature de ces réserves est variable mais toujours à base de glucides, lipides et protéines. En fonction de l'importance relative de chaque élément, on trouvera des graines riches en protéines (légumineuses: niébé), en glucides (céréales: maïs), et en lipides (oléagineuses: soja) (Boutherin & Bron, 1989).

I.3.3.2 Dormance

La graine, lorsqu'elle quitte le fruit, est un organe vivant mais en état de vie ralentie. La respiration est infime, les échanges nutritifs nuls; il n'y a pas de synthèse ni de croissance. L'activité physiologique de la graine est réduite au strict minimum. Cette réduction temporaire d'activité physiologique est appelée vie latente. Cette vie ralentie peut durer plus ou moins longtemps. Pour le retour à la vie active, trois conditions doivent se trouver réunies:

- conditions externes favorables;

- pas de dormance;
- maturité physiologique atteinte.

Dans beaucoup de cas, la maturité morphologique = maturité apparente et la maturité physiologique = maturité vraie (acquisition de l'aptitude à germer), sont atteintes en même temps au moment de la récolte des graines. Dans ce cas, il n'y a pas de dormance; mais il arrive que même placée dans des conditions favorables, la graine récoltée ne germe pas alors qu'elle est vivante. On se trouve en présence d'une inaptitude temporaire à la germination encore appelée dormance.

Bien que le terme de dormance soit botaniquement impropre, on doit parler d'inhibition, le terme largement utilisé dans le langage professionnel. La dormance peut être primaire:

- inhibition tégumentaire: imperméabilité à l'eau, à l'air (oxygène), téguments très résistants pour permettre l'expansion de l'embryon, ou riches en agents inhibiteurs de la germination tels les dérivés cyanhydriques, alcaloïdes, éthylène, etc...;

- dormance embryonnaire: le siège de cette dormance est situé dans les cotylédons ou sur l'axe embryonnaire lui-même. Les causes de cette dormance sont peu connues. On suppose qu'elles découlent d'un blocage des systèmes enzymatiques de l'embryon. L'origine du blocage serait soit génétique, soit au niveau membranaire sous le contrôle des régulateurs de croissance;

- dormances complexes: on regroupe sous ce nom les dormances qui sont le fait d'une combinaison de dormances embryonnaires et de dormances tégumentaires, ou de dormances qui affectent le développement de la plantule. Dans ce cas, elles sont épicotylaire: la radicule croît mais l'épicotyle ne se développe pas; ou mixte (épicotylaire et radulaire): ces étapes se succèdent dans le temps.

La dormance peut aussi être secondaire: également appelées dormances induites, elles sont liées à l'environnement de la graine, telles la lumière (photodormances), la température (thermodormances), ou les conditions d'asphyxie: l'excès d'eau n'est pas la seule cause possible, car un taux de CO₂ élevé peut également raréfier l'oxygène au niveau de la graine, et induire une dormance secondaire (Villiers, 1975).

I.3.3.3 Levée de la dormance

Les procédés liés à la levée de la dormance sont des traitements destinés à supprimer les obstacles à la germination (Ellis et *al.*, 1983). Pour les inhibiteurs tégumentaires, la

suppression des téguments ou tout au moins leur lésion qui les rend perméables et moins résistants suffit. Le procédé le plus couramment utilisé est la scarification.

La scarification est une usure des téguments permettant une meilleure pénétration/imbibition de l'eau et de l'oxygène. Cette usure peut être obtenue par différents procédés: l'agitation des semences seules ou mélangées à du sable. Les semences maintenues en mouvement se frottent les unes contre les autres et s'usent mutuellement. La durée et la vitesse de rotation sont liées aux espèces considérées. On peut également arriver au même résultat en plongeant la graine dans un liquide corrosif: acide sulfurique plus ou moins dilué. Après le traitement de durée variable suivant les espèces, il faut rincer abondamment, puis sécher rapidement.

La stratification est un séjour plus ou moins prolongé de la semence au froid et à l'humidité. Ce séjour est de quelques semaines à quelques mois, selon les espèces. Au sortir de la stratification, les graines sont récupérées, puis semées. Il faut également surveiller les graines en fin d'opération et ne pas trop attendre pour réaliser le semis, sinon on risque de casser la radicule ou la gemmule. Le mécanisme de la stratification est mal connu: il semble que le séjour au froid humide ait une action sur le PH des cellules, et que certaines modifications biochimiques apparaissent dans les matières de réserve.

La dessiccation (ou post-maturation sèche): Elle consiste à faire séjourner les graines dans une atmosphère sèche afin de provoquer des fissures dans les téguments. Une alternance sécheresse-humidité est également possible. Cette opération permettrait soit l'élimination d'inhibiteurs volatiles, soit supprimerait certaines barrières de perméabilité.

Le traitement par des produits chimiques divers: certaines substances chimiques ont la propriété de lever certaines dormances, sans que l'on sache très bien si leur action est simplement stimulante ou si elles lèvent effectivement la dormance. Ce sont: acide gibbérellique, nitrate de potassium, thio-urée, dioxyde de carbone. On qualifie parfois la dormance de psychrolabile quand elle est levée par le froid, et de xérolabile quand elle est levée après séjour au sec.

En général, la dormance pour les semences agricoles est une véritable nuisance pour l'analyste de semences, qui doit entreprendre des tests de germination peu après la récolte, pendant que les semences sont encore dormantes. Pour induire les semences à germer dans les conditions de laboratoire, il doit appliquer l'un des agents responsables de la levée de la dormance. *L'International Rules for Seed Testing* donne les procédés recommandés pour chaque espèce (Thompson, 1979).

I.3.4 Qualité des semences

I.3.4.1 Humidité

Les semences permettent aux plantes de survivre d'une campagne agricole à l'autre. Une des propriétés essentielles des semences est donc l'aptitude à la conservation, qui est déterminée par la teneur en humidité. En général, la plupart des semences se conserve plus longtemps si elles sont plus sèches (jusqu'à 10-12 %): ces semences sont dites orthodoxes. Certaines semences ayant un taux d'humidité élevé (avocatier, manguiers, etc...) ne peuvent être séchées en vue de la conservation: ce sont des semences récalcitrantes. L'évaluation de la teneur en humidité constitue souvent un des problèmes majeurs auxquels doit faire face le petit producteur de semences. La seule méthode précise pour évaluer l'humidité consiste à utiliser de petits humidimètres électroniques qui déterminent automatiquement la teneur en humidité; mais en général, ils sont chers et pas facilement disponibles. Plus les semences sont sèches, plus elles maintiennent longtemps un bon potentiel de germination et une croissance vigoureuse ultérieure des plants de semis. En gros, toute réduction de 1 % de la teneur en humidité, double approximativement la durée de la conservation des semences (Anonyme, 2004).

A l'opposé, si les semences sont très humides au moment de la conservation, elles constituent une source de nourriture idéale pour les moisissures et les insectes. L'activité de ces parasites des denrées stockées fait monter la température des tas/sacs en stock, et dans un délai assez bref, les semences sont complètement abîmées, par des dégâts immédiats (pourriture, rongements) et par la détérioration de la capacité de germination due à la température élevée. Pour garantir la qualité des semences, la mesure la plus importante est de s'assurer que ces semences soient bien sèches.

I.3.4.2 Pureté

Les semences agricoles doivent être, autant que possible, débarrassées des corps étrangers présents dans les lots.

La pureté est dite spécifique lorsque les graines représentent parfaitement l'espèce choisie. La pureté spécifique s'exprime en pourcentage du poids des graines n'appartenant pas à l'espèce considérée. Les impuretés sont, soit des plantes adventices, soit d'autres plantes cultivées non recherchées, ou encore des matières inertes: graviers, sables, brisures, débris végétaux divers.

La pureté variétale est une notion très importante en horticulture, mais elle n'est pas souvent indiquée, car en pratique, elle est associée à la pureté spécifique. Certaines maladies (virales) qui normalement ne vivent que dans le sol peuvent se propager également à d'autres champs si de la terre contenant la maladie ou des déchets végétaux sont mélangées aux semences. Dans les programmes officiels de certification des semences, la pureté minimum requise des semences est à peu près de 99 %: cela veut dire que toutes les impuretés mentionnées ci-dessus ne doivent pas représenter plus de $100 - 99 = 1$ % du poids total des semences (Ellis et *al.*, 1985).

I.3.4.3 Capacité germinative

Une pureté élevée d'un lot de semences n'a aucun sens si ces semences sont incapables de germer et de produire des plantules vigoureuses au niveau de l'exploitation agricole. La capacité germinative d'un lot (de semences) est le pourcentage en nombre des semences pures qui produisent des plantules normales dans un essai au laboratoire - les semences qui sont faibles ou anormales sont ignorées. Elle indique le potentiel d'un lot de semences de produire des plantules normales et vigoureuses dans des conditions idéales de plantation. L'importance d'une capacité germinative élevée pour un exploitant agricole est évidente, mais en pratique, le plein potentiel est rarement réalisé et le nombre de plantules effectivement établies au niveau de l'exploitation agricole est inférieur à ce qu'indiquerait la capacité germinative.

Les conditions agro-climatiques au niveau de l'exploitation agricole au moment du semis peuvent être défavorables - excès d'eau, de sécheresse, etc...- si bien que les plantules crèvent d'asphyxie ou de sécheresse, ou sont attaquées par des champignons/bactéries. Même si les conditions sont, en général, favorables, une semence peut être détruite par les insectes du sol, des oiseaux, ou souffrir à cause de la compétition pour l'eau, l'espace et les nutriments avec les adventices et les autres plantules.

Quoiqu'il en soit, plus la capacité germinative est élevée, mieux l'établissement des plantules en champ, et dans les lots possédant une capacité germinative élevée, l'établissement en champ en est très proche. Ce concept est bien illustré par les résultats d'une expérience dans laquelle la germination au laboratoire de cinq lots de semences de piment a été comparée à l'établissement des plantules au champ (Tableau I).

La capacité germinative, en pratique, est la meilleure indication que l'on ait de la capacité d'un lot de semences de croître en champ, et des lots de faible capacité doivent être

purement et simplement rejetés. Comme l'indique les résultats, il n'est pas possible de faire des compensations pour les faibles germinations en augmentant proportionnellement les quantités de semences à semer. La capacité germinative est influencée par les conditions de récolte et de conservation de semences, et ces qualités peuvent varier d'une année à l'autre.

Tableau I. Capacité germinative et établissement au champ de 5 lots de semences de piment (Franck, 1929).

Pourcentage des semences produisant des plantules au laboratoire (%)	Pourcentage des semences produisant des plantules au champ (%)	Pourcentage de germination au laboratoire (%)
98	91	93
93	68	73
80	39	49
71	33	46
56	16	29

I.3.4.4 Vigueur

Alors que la capacité germinative indique l'habileté d'un lot de semences à produire des plantules dans des conditions favorables de champ, la vigueur, elle, indique son habileté à produire des plantules vigoureuses dans des conditions défavorables. La germination ici peut alors inclure des semences ayant une vigueur insuffisante pour une production adéquate des plantules sur le terrain. C'est le cas particulièrement des lots de semences ayant une faible germination (Tableau I). Ici, dans le lot ayant la germination la plus faible, seulement le tiers de ces semences capables de germer ont produit des plantules vigoureuses au champ. Des semences fraîches, saines, bien formées montrent presque toujours une bonne vigueur. Le maintien d'un bon pourcentage de germination et d'une bonne vigueur est la fonction la plus importante du stockage des semences (Boutherin & Bron, 1989).

I.3.4.5 Valeur culturale

La quantité de semences à semer pour obtenir un semis ni trop clair, ni trop dru, dépend essentiellement de la valeur culturale du lot de semences; autrement dit, la qualité d'un lot de semences se mesure en appréciant la valeur culturale, qui consiste à multiplier la pureté d'un lot par la faculté germinative, et à diviser par 100.

Exemple: Pureté = 85 %; Faculté germinative = 90 %;

Alors: Valeur culturale = $(85 \times 90) / 100 = 76,5$.

Une même valeur culturale peut être la résultante de plusieurs combinaisons.

I.3.5 Essais de semences

Il est fortement recommandé aux distributeurs de semences et aux exploitants agricoles de faire toujours un essai de semences avant de procéder au semis sur le terrain. Les conséquences de l'utilisation des semences peu viables sont presque irréversibles, à moins qu'on soit préparé de recommencer. Réensemencer de grandes superficies revient infiniment plus cher et est plus pénible que de faire quelques essais préalables très simples.

Les règles internationales pour l'essai de semences (Anonyme, 1966_b) doivent être appliquées; il est donc indispensable que cette publication soit disponible dans les laboratoires d'essai de semences, et si possible traduite en langue locale. Les techniciens de laboratoires doivent s'y familiariser et dans chaque situation d'analyse, s'y référer ainsi qu'à d'autres publications y relatives (Wellington, 1969; Chalam et *al.*, 1967). Les étapes successives de l'essai de semences sont:

- échantillonnage: il a pour but l'établissement d'un échantillon représentatif d'un lot de semences. Il faut d'abord faire une distinction entre les lots de différentes provenances parce qu'il peut y avoir des différences de pureté, de viabilité, etc..., à cause de différences d'âge, de conditions de stockage, etc... Pour chaque lot, on fera un essai à part. De chaque lot homogène, on prend un échantillon de départ assez grand et représentatif qu'on mélange bien;

- test de pureté: un sous-échantillon est pris pour déterminer la pureté des semences. On pèse l'échantillon et on éloigne toutes les substances étrangères (particules de terre, graines vides, etc... On compte les semences après cette purification: on obtient ainsi le nombre de semences du lot par gramme;

- test de viabilité des semences: des semences strictement pures, telles que décrites ci-dessus, doivent être utilisées pour la germination et les tests y relatifs. On prend au hasard 400 graines de l'échantillon, qui sont ensuite divisées en 4 lots de 100, ou 8 lots de 50 graines. Toutefois, les standards internationaux pour les banques de gènes (Anonyme, 1994) recommandent d'utiliser un minimum de deux répétitions avec 100 graines par répétitions. Les substrats de germination conventionnels sont le sable et le papier filtre. Les semences sont espacées sur le substrat de sorte qu'après la germination, les plantules n'entrent pas en contact les unes les autres avant le comptage. Le substrat doit être mouillé en permanence pour créer des conditions favorables à la germination.

La germination d'une semence peut être définie comme la reprise de croissance de l'embryon et l'émergence ou la protrusion de la radicule des structures membranaires qui la recouvrent. Après la germination donc, on compte les plantules normales, par exemple après 5 jours et 10 jours; au terme de l'expérience, la moyenne des 4 échantillons donne une estimation de la viabilité du lot de semences. Lorsqu'il y a une différence de plus de 10 % entre les sous-échantillons, il est préférable de répéter l'essai.

Maintenant, on dispose de toutes les caractéristiques nécessaires du lot pour calculer le nombre de semences viables par gramme. Pour arriver à une décision définitive sur la quantité à semer, on tiendra compte des aléas climatiques et des conditions du champ.

I.3.6 Conditionnement et conservation des semences

I.3.6.1 Maintenance de la viabilité des semences

Des travaux de recherche sur le maintien de la viabilité des semences pendant la conservation s'étalent de la période où les semences atteignent la maturité physiologique jusqu'au semis, incluant les différentes phases suivantes: au champ avant la récolte; entre la récolte et la préparation; après la préparation jusqu'à la distribution; en transit; aux points de distribution au détail, et à la disposition des utilisateurs (exploitants agricoles). La plupart de ces travaux ont été concentrés sur les étapes d'après préparation jusqu'à la distribution des semences, toutes faisant recours à la conservation. Plusieurs auteurs (Owen, 1957; Barton, 1961; Roberts, 1972) se sont appesantis sur les facteurs qui influencent la conservation.

En effet, la semence atteint sa maturité physiologique sur la plante. A ce moment, la semence possède la viabilité et la vigueur maximum. Mais, au cours de la conservation, la semence vieillit et se détériore. En utilisant des conditions de conservation appropriées, le taux de détérioration/vieillessement de la semence peut être considérablement ralenti. Les deux facteurs environnementaux les plus importants qui influencent la perte de germination sont l'humidité relative, qui contrôle la teneur en humidité de la semence, et la température. Plus ces facteurs sont élevés, plus la semence se détériore rapidement. Toutefois, pour toute réduction de 1 % de la teneur en humidité de la semence, sa durée de vie est doublée; et pour toute réduction de 5 °C dans la température de conservation, la durée de vie de la semence est également doublée.

La première règle s'applique parfaitement pour les teneurs en humidité de semence comprises entre 5 et 14 %: au-dessus de 14 %, la prolifération des moisissures annule

rapidement la germination; à l'opposé, en dessous de 5 %, des réactions physiochimiques accélérant la détérioration de la semence ont lieu.

De même, les températures du milieu de conservation comprises entre 21 °C et 27 °C sont idéales pour stimuler l'activité des insectes et des champignons. Ainsi les températures inférieures à 21 °C (16 °C, 11 °C, 6 °C, etc...), prolongent 2, 4, et 8 fois respectivement la durée de vie de la semence, et assurent leur conservation à long terme (Anonyme, 1975).

I.3.6.2 Conservation des semences

Le but de la conservation est de maintenir la faculté germinative de la semence. En effet, après la récolte, la semence maintient son pouvoir germinatif d'origine pendant des semaines, des mois, et même des années. Par la suite, celle-ci se dégrade progressivement et même rapidement. Dans la pratique, la conservation des semences s'arrête lorsque la faculté germinative commence à décroître.

En effet, l'activité physiologique de l'embryon est influencée par la teneur en oxygène et la disponibilité en eau (humidité), et par la température. Pour obtenir une conservation à long terme de la semence, cette activité doit être réduite au strict minimum. Les matériels communément utilisés à cette fin sont le film en polyéthylène, le bitume, et le papier en aluminium (Anonyme, 1975). Ainsi utilisés, le conditionnement:

- vise à assurer une protection efficace contre les facteurs environnementaux nuisibles (oxygène, température, humidité, etc...);
- fait partie intégrante de la chaîne de production des semences, et facilite à la fois pour les producteurs et les utilisateurs le transport, l'entreposage, la vente, l'achat et l'utilisation plus efficace des semences;
- est un moyen d'assurer que le produit soit livré à l'utilisateur en quantités connues et dans l'état prévu pour une durée de conservation spécifiée;
- sert à rendre le lot de semences plus attrayant, et donc à promouvoir son utilisation et augmenter les ventes.

I.3.6.2.1 Principes de conditionnement

Le choix d'un emballage approprié repose sur plusieurs principes de base. Afin de déterminer la meilleure option pour un usage particulier, il est nécessaire de prendre en compte le type de produit, la destination de l'emballage (vrac, détail, etc...), la durée du

stockage et de la distribution (durée de conservation), les conditions climatiques et les matériaux disponibles localement.

I.3.6.2.2 Systèmes de conditionnement

Dans de nombreuses régions du monde, les matériaux traditionnels d'emballage comprennent: paniers, sacs de jute et boîtes en bois, gourdes, pots en terre,alebasses, etc... Ces récipients sont bon marché et présentent l'avantage d'être utilisés plusieurs fois, à condition d'être convenablement nettoyés pour éviter des contaminations (Anonyme, 1993).

Les nouveaux matériaux et techniques de conditionnement font appel au recyclage et à la réutilisation des matériaux d'emballage; c'est une pratique courante dans de nombreux pays en développement. Ici, on distingue le verre, le papier, le métal, les films en aluminium et le plastique:

- les papiers n'assurent pratiquement aucune isolation à l'humidité ou à l'air et ne sont pas thermo-scellables. Les papiers paraffinés isolent davantage de l'humidité et peuvent être thermo-scellables;

- les récipients métalliques les plus couramment employés sont les boîtes en fer blanc ou en aluminium. Ils présentent de nombreux avantages pour l'emballage, car ils peuvent parfaitement protéger des contaminations externes. Toutefois, les récipients métalliques tendent à être relativement coûteux, surtout comparés aux nouveaux emballages à base de plastique qui les remplacent;

- le verre est un matériel d'emballage très largement utilisé en bouteilles et bocaux de formes, tailles et couleurs très diverses. A condition d'être convenablement fermés, les récipients en verre assurent une excellente protection contre les contaminations externes et, comme ils sont inertes (pas de corrosion), ils n'entraînent aucune réaction des produits avec lesquels ils sont en contact;

- l'extraordinaire croissance de la gamme et des applications des différents types de matériaux en plastique a considérablement élargi l'éventail des emballages utilisables pour les semences. Les plastiques présentent un certain nombre d'avantages sur les autres matériaux: ils peuvent être rigides ou souples (boîtes et sachets respectivement); ils existent en différentes épaisseurs; ils ont une bonne résistance à l'humidité et à la sécheresse et sont relativement inertes du point de vue chimique; ils assurent une bonne protection contre l'humidité et l'air; ils peuvent être thermo-scellables et hermétiques; les plastiques souples épousent étroitement la forme des produits qu'ils contiennent, ce qui se traduit par un gain de

place au stockage et à la distribution; ils sont légers et pratiques d'emploi; ils sont généralement plus disponibles et économiques que d'autres matériaux comme le fer blanc, l'aluminium ou le verre; enfin, ils assurent une bonne présentation des produits destinés à la vente, car ils peuvent être imprimés.

La sélection d'un emballage, pour un produit agricole particulier dans un contexte spécifique, dépend donc de nombreux facteurs, parmi lesquels le rôle de l'emballage, le climat, la disponibilité de matériaux d'emballage, la nature de la denrée à emballer et la quantité de produit agricole par emballage. Le tableau II ci-après résume le type de protection assurée par les divers matériaux d'emballage et les différentes options qui pourraient être envisagées selon les groupes de produits agricoles.

Tableau II. Protection offerte par divers matériaux de conditionnement de semences convenablement fermés (Anonyme, 1993).

E*: Protection élevée; M: Protection moyenne; F: Protection faible; E/M: Protection élevée à moyenne.

Types de matériels de conditionnement	Facteurs de détérioration des semences						
	Perforation/ Ecrasement	Lumière	Air	Humidité	Insectes	Rongeurs	Micro-organismes
Métal (boîtes serties)	E*	E	E	E	E	E	E
Verre (boîtes)	E/M	E	E	E	E	E	E
Papier (sachets)	F	M	F	F	F	F	F
Bois (caissettes)	E	E	F	F	F	F	M
Aluminium (sachets)	F	E	E	E	M	M	M
Plastique (sachets)	F	F	E	E/M	F	F	M
Plastique (boîtes)	E/M	F	F	E/M	E	E	E

I.3.7 Conditions de réussite d'un semis

Réussir un semis, c'est placer la graine dans des conditions où elle est amenée à germer. Cette réussite dépend de la qualité des semences et du milieu dans lequel on place celles-ci.

I.3.7.1 Germination

La germination, rappelons-le, est le phénomène par lequel la graine passe de l'état de vie ralentie à l'état de vie active, sous l'influence des conditions extérieures, et donne une

plante. Au cours de la germination, l'embryon de la graine vit aux dépens de substances nutritives stockées dans ses cotylédons ou autour de lui, dans l'albumen. On dit que la plante est hétérotrophe; par la suite, quand la racine a pris un développement suffisant, la jeune plante s'alimente dans le sol comme un végétal adulte: la plante est alors autotrophe.

I.3.7.2 Germination: conditions liées à la graine

Une graine est bonne lorsqu'elle possède sa faculté germinative, c'est-à-dire le pouvoir de germer si on la place dans des conditions convenables pour la germination. Les graines perdent cette faculté avec l'âge, et d'autant plus vite que leur conservation est défectueuse. Il est souvent indiqué de s'assurer qu'elles sont fraîches, de la dernière récolte ou du moins qu'elles ne sont pas sur le point de perdre leur faculté germinative en raison de leur âge avancé. La faculté germinative est appréciée après un test de semences.

La vitesse de germination donne aussi des indications sur l'énergie germinative du lot de semences considéré. En effet, les graines germant moins vite dans l'essai risquent de ne pas germer dans les conditions moins favorables de la pratique (en champ). Autrement dit, les graines qui n'ont pas encore germé au terme du temps d'observation ne sont pas forcément mauvaises; elles émettraient peut-être un germe si l'on prolongeait l'essai. Cependant, on estime qu'elles ne peuvent pas germer/lever dans des conditions ordinaires de la pratique (en champ) (Demir, 2002).

En général, les graines fraîches (ou jeunes) germent rapidement; un lot de graines dont la grande majorité a donné son germe au cours de la première moitié de la durée de l'essai a une excellente énergie germinative; les graines âgées (vieilles) au contraire germent lentement et irrégulièrement; elles donnent un gros déchet lorsqu'on les emploie et d'autant que les conditions de température sont moins propices.

I.3.7.3 Germination: conditions liées au milieu

I.3.7.3.1 Substrat

Le support du semis sera apprécié surtout pour ses qualités physiques. Il devra être sain, léger, drainant, mais retenant suffisamment d'eau. La granulométrie est également un facteur très important car elle devra être en relation étroite avec la grosseur des graines. La granulométrie superficielle du support devra être assez proche de la grosseur de la graine semée. Le propos de certains professionnels: «La granulométrie doit être identique à la grosseur de la graine» ne peut se concevoir dans un sens très strict, mais donne une assez

bonne idée de l'attitude à adopter vis-à-vis de cet aspect du problème. Le nivellement du lit de semences n'est pas à négliger. La qualité sanitaire du substrat peut être naturelle (sable, tourbe, etc...) ou obtenue, après désinfection chimique (produits phytosanitaires) ou physique (vapeur d'eau chaude) (Boutherin & Bron, 1989).

I.3.7.3.2 Température

Elle s'apprécie à deux niveaux:

- température du substrat ou du sol: c'est avant la levée, le facteur le plus important. Il faut absolument assurer une température adaptée à l'espèce semée. Ce contrôle est assez aisé sous abri où l'on considère généralement que pour un grand nombre de végétaux, 18 °C à 22 °C sont des températures optimales;

- température ambiante: elle est maîtrisée uniquement par les cultures sous abri. On considère qu'elle doit être voisine de la température du substrat. La maîtrise et le contrôle de cette température sont importants spécialement à partir de la levée.

I.3.7.3.3 Humidité relative (HR)

Elle devra être élevée, surtout au moment de la levée pour les graines non recouvertes. Pour maintenir un taux élevé supérieur à 85 %, on pratique la mise à l'étouffée tout en assurant si besoin une légère aération, de manière à éviter une trop forte condensation et la chute de gouttes d'eau sur les semis: on assurerait dans ce cas des conditions favorables au développement des champignons parasites.

I.3.7.3.4 Lumière

Il est important de maintenir un minimum de luminosité aux semis car la plupart des espèces sont à sensibilité positive et exigent de la lumière pour germer. La photodormance est l'action de la lumière sur la germination. A partir de la levée, la lumière va devenir un facteur très important car elle est indispensable à la photosynthèse. Il faudra donc assurer une bonne luminosité tout en évitant une exposition au soleil trop importante et/ou trop prolongée car les plantules sont fragiles, d'où l'obligation d'un ombrage à la mise en place de la pépinière. Cet ombrage sera progressivement supprimé en vue d'éviter l'effilement des plants.

I.3.7.3.5 Air et eau

L'aération se fait progressivement et est toujours en liaison avec la température et l'hygrométrie. A partir de la levée, une aération progressive évitera un choc physiologique trop important et permettra une croissance rapide et régulière des plantules.

Un arrosage judicieux et une surveillance étroite de celui-ci sont indispensables. La présence d'eau est en effet nécessaire pour permettre la réhydratation de la graine. L'eau joue également un rôle dans l'hydrolyse des réserves nutritives de la graine. Toutefois, il faut éviter les excès d'eau, car dans ce cas, le risque d'asphyxie a lieu et l'on crée en conséquence des conditions favorables au développement des champignons parasites. A titre préventif, on peut ajouter à l'eau d'arrosage un pesticide (insecticide ou fongicide) ou un fertilisant (engrais à action foliaire). Mais, la nature et les doses doivent être bien choisies pour éviter un effet de toxicité sur la végétation.

I.3.7.4 Semis en pépinière

Un semis en pépinière est réalisé sur une surface restreinte en général, à une densité importante. Il peut se faire en pleine terre ou hors sol, dans des caissettes de semis. Dans tous les cas, il sera suivi d'un repiquage. Cette technique permet de n'utiliser au départ qu'une surface réduite, d'où gain de place et possibilité de semis sous abri, dans des conditions climatiques idéales pour un coût relativement modeste. Cette technique facilite aussi la surveillance et l'entretien des plantules (mauvaises herbes, animaux, insectes, bactéries et champignons, fertilisants, etc...). En règle générale, il ne faut pas enterrer trop profondément les graines: cette opération doit plutôt se faire à une profondeur qui correspond à deux ou trois fois leur diamètre, mais cette recommandation n'est qu'indicative (Dupriez & De Leener; 1987).

I.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS

L'usage plus intensif des engrais chimiques est reconnu comme nécessaire pour accroître rapidement les rendements agricoles des pays ACP (Afrique, Caraïbe, Pacifique). Pour les rendre accessibles aux producteurs, malgré leur coût très élevé, les gouvernements africains sont, depuis la crise alimentaire de 2007, de plus en plus nombreux à les subventionner (Anonyme, 2010). Par ailleurs, la dégradation de la fertilité des sols est particulièrement importante en Afrique tropicale où les capacités de rétention en eau des sols ont diminué dans de nombreuses régions. Toutefois, la vigilance est de mise, car la croissance

démographique et l'urbanisation rapide créent une forte pression sur les ressources en terres. Une gestion rationnelle des sols et autres ressources est donc un élément clé de la productivité.

I.4.1 Définition

La fertilité d'un sol est son aptitude naturelle ou acquise à fournir des productions agricoles régulières et plus ou moins abondantes, d'une ou de plusieurs espèces végétales, dans des conditions extrinsèques du sol favorables.

Elle représente une fonction complexe de nombreuses variables dont la plupart ne sont elles-mêmes ni simples, ni indépendantes. Toutefois, elle dépend des propriétés du sol que lui confèrent ses constituants physiques, chimiques et biologiques (Demolon, 1968).

I.4.2 Principales caractéristiques des sols de la zone d'étude

Les sols du Moungo sont des sols volcaniques jeunes, se différenciant essentiellement par la nature du sous-sol (basaltes ou lapillis), et par le degré d'évolution. Alors que les sols jeunes sont sableux/piérreux, les sols plus anciens possèdent une fraction fine plus importante. La structure est bonne (de grenue à grumeleuse). Le profil, de couleur brune à brun foncé, est parfois homogène sur plus de 2 m de profondeur; il peut aussi présenter à faible profondeur, un horizon légèrement induré, une croûte, un horizon de cendres ou de basalte en voie d'altération (Fig. 5).

Les teneurs en matières organiques sont assez élevées (6 % en moyenne) et l'humification constante (20-25 % de la matière organique). L'azote total varie entre 2-6 %, d'où un rapport C/N assez bas, compris entre 8 et 9 (Delvaux, 1989).

L'activité biologique de ces sols est qualifiée de remarquable, dont on ne trouve pas d'équivalent en Afrique occidentale (Champion et *al.*, 1958). Ainsi, sous défrichage, on trouve un coefficient de minéralisation du carbone moyen (1,36); une très forte quantité d'azote minéral et minéralisable (26,9 mg pour 100 g de terre); et une densité de germes nitreux de 40/g (Dugain, 1960).

I.4.3 Besoins et exigences en éléments nutritifs du piment

Le piment se développe mieux lorsqu'on lui fournit de grandes quantités de matières organiques additionnées d'engrais minéraux équilibrés. La disponibilité des nutriments dépend du type de sol et des conditions climatiques du milieu, et de ce fait les

recommandations locales pour l'application d'engrais varient énormément. Il est raisonnable de conseiller 10-20 t/ha d'engrais organique (ex. du fumier). Les besoins généraux en nutriments sont de 130 kg/ha de N, 80 kg/ha de P, et 110 kg/ha de K, que l'on peut fractionner en une fumure de fond suivie de quelques épandages additionnels à intervalles de 3-4 semaines, débutant lors de la première floraison. On recommande également du Bore à la dose de 10 kg/ha (Grubben & El Tahir, 2004).

I.4.4 Amélioration et entretien des capacités nutritives du sol

I.4.4.1 Concept général

Le sol constitue une réserve d'éléments nutritifs dans le système de production végétale, et une source primaire de fertilité pour les plantes. Cette réserve de fertilité peut être considérée comme un capital pour l'exploitation agricole, qui peut être améliorée ou réduite. Auparavant, la richesse des sols n'était améliorée et entretenue que grâce aux restitutions des résidus culturaux et aux apports organiques tel que le fumier. Les réserves «naturelles» d'un sol ne permettent que la pratique d'une agriculture extensive. En culture intensive, il est nécessaire d'entretenir et de fertiliser le sol. Ainsi, les plantes doivent disposer à tout moment de leur cycle végétatif et reproductif, des nutriments assimilables en quantité et en proportion adaptées à leurs besoins. C'est le sol qui, par l'entremise de processus physico-chimiques et biologiques, en assure la fourniture.

La fertilisation, ensemble de techniques culturales consistant à apporter des éléments minéraux aux cultures, a pour objet d'en permettre la fourniture par le sol et non de s'y substituer. Les apports doivent tendre à créer des conditions de nutrition, telles que la fourniture soit adaptée à l'importance et à la chronologie des besoins de la plante. En d'autres termes, la nutrition minérale est assurée correctement lorsque les éléments minéraux nécessaires sont présents dans le sol en quantité et en proportion satisfaisantes.

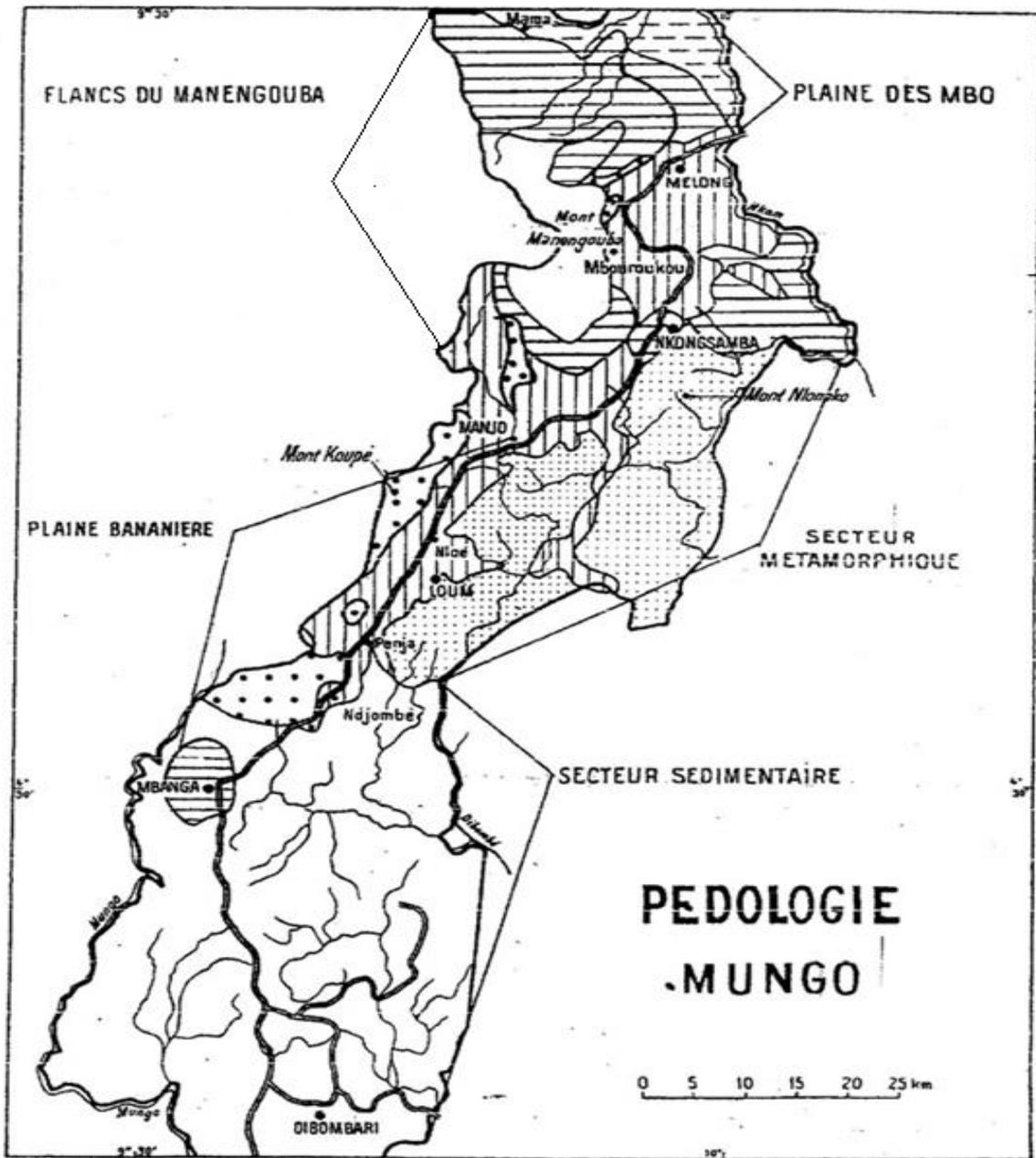
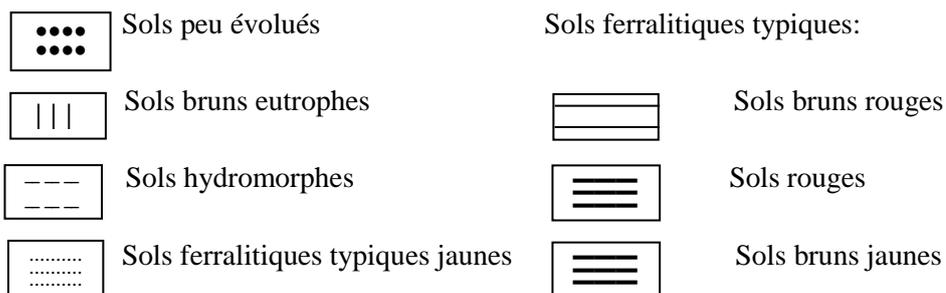


Fig. 5. Carte pédologique de la zone d'étude (Moungo) (Service carte ORSTOM, Yaoundé, 1966).



L'insuffisance d'un élément limite l'efficacité des autres; l'excès de l'un déprime le rendement: on parle alors de la «loi du minimum», souvent appelée «loi du facteur limitant» (Aelterman, 1981). Elle peut s'énoncer ainsi: le poids de la récolte dépend uniquement du constituant nutritif le plus faiblement représenté dans le sol.

Le sol exerce ainsi un rôle déterminant dans le devenir des engrais et leur mise à la disposition des cultures. L'objectif de la fertilisation est de satisfaire les besoins nutritionnels des cultures en complétant, parfois en créant en partie, l'offre alimentaire du sol dans des conditions économiques rentables, en tenant compte des objectifs de rendements et de qualité de différentes cultures, de la disponibilité des éléments nutritifs, du souci de conserver le potentiel de production, et enfin, du souci de préserver l'environnement.

I.4.4.2 Fumure organique

Les produits organiques sont à la fois sources d'éléments nutritifs et d'humus après minéralisation. Une juste appréciation de leur valeur fertilisante et/ou amendante permet de les utiliser plus judicieusement et sans risque (agriculture biologique). On peut distinguer deux types de produits organiques: les produits non transformés, et les produits déjà en cours d'évolution (fermentation) lors de leur incorporation au sol (Defoer et *al.*, 2000).

Les produits non transformés comprennent, d'une part, les résidus culturaux: pailles, chaumes, tiges de maïs, etc..., et, d'autre part, les engrais verts. Les premiers sont une fraction résiduelle de la production photosynthétique totale des cultures; les seconds sont cultivés pour être enfouis en totalité. La matière végétale des résidus culturaux, en partie lignifiée, est assez résistante à la dégradation; celle des engrais verts est jeune et facilement dégradable.

Les produits organiques en cours de fermentation, ou déjà fermentés, proviennent soit de l'exploitation agricole: compost, fumiers, purins, lisiers, fientes, etc..., soit ont une origine externe à l'exploitation: gadoues urbaines, sous-produits de certaines industries agro-alimentaires, etc... Ceux qui améliorent essentiellement les propriétés du sol, tout en libérant une fraction de leurs éléments minéraux, sont qualifiés d'amendements organiques. Les autres, pourvoyeurs d'éléments nutritifs exclusivement, sont des engrais organiques.

La production et la composition minérale d'engrais organiques d'origine animale (fumiers, purins, lisiers, fientes, etc...) varie selon les animaux, le mode d'élevage, et l'importance des eaux de lavage ajoutées (Tableau III). La disponibilité des éléments minéraux est élevée, les coefficients d'équivalence engrais sont proches de l'unité; 60-80 % de l'azote sont immédiatement utilisables.

Tableau III. Teneur en minéraux de la fumure organique (% de la matière sèche) de quelques animaux dans les fermes tropicales.

(Aelterman, 1981).

Nature de la fumure organique	Minéraux de la fumure organique					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₂
Volaille	2,0 - 5,0	2,2 - 3,0	1,3 - 1,5	4	1	2
Mouton	2	1,5	3	4	2	1,5
Chèvre	1,5	1,5	3	2	0	0
Cheval	3,0 - 6,0	1,5	2,0 - 5,0	1,5	1	0,5
Bovin	2	1,5	2	4	1	0,5

I.4.4.3 Engrais minéraux

I.4.4.3.1 Définition

Les engrais minéraux sont des matières fertilisantes susceptibles d'apporter aux plantes des éléments fertilisants directement utiles à leur nutrition (ce qui n'exclut pas l'intervention du sol). Ils renferment des éléments fertilisants majeurs (N, P, K); des éléments secondaires (Ca, Mg, S) et des oligo-éléments (Fe, Zn, Mn, Cu, Bo, Mo, Cl).

I.4.4.3.2 Classification des engrais

Les engrais minéraux sont simples ou composés: les engrais simples ne contiennent qu'un seul élément fertilisant majeur; les engrais composés en contiennent deux ou trois: ce sont des engrais binaires ou tertiaires, respectivement.

Ils sont aussi classés suivant le procédé de fabrication: les engrais composés de mélange sont obtenus par mélange de deux ou plusieurs engrais simples (une combinaison chimique n'a pas lieu); l'engrais est dit *bulk blending*; les engrais complexes contiennent au moins deux éléments fertilisants, et sont obtenus par voie de réaction chimique, en faisant réagir les matières premières entre elles. Exemple: les phosphates d'ammonium ou nitrates de potassium sont des engrais complexes (Defoer et *al.*, 2000).

I.4.4.3.3 Principaux engrais simples

Les engrais simples se répartissent en trois groupes: les engrais azotés, les engrais phosphatés et les engrais potassiques.

Les engrais azotés (N): ils ont été les premiers fertilisants appliqués. Aujourd'hui, ce sont les engrais les plus utilisés. L'azote est vital pour la croissance des plantes, et est une composante importante des protéines végétales. L'urée, contenant 46 % d'azote, est l'engrais azoté solide le plus concentré. Commercialisé sous forme pulvérulente ou granulée (perlurée), l'urée est très soluble. Aussi, l'azote est très instable, et une fois appliqué, des pertes par lessivage (eaux d'infiltration) ou par volatilisation sont possibles: afin de les réduire, il est recommandé d'enfouir les engrais azotés par un hersage/labour, ou de les appliquer à intervalles réguliers pendant la saison pluvieuse. L'urée est utilisable sur pratiquement toutes les cultures. A cause de sa haute concentration (46 % N), sa grande solubilité et l'absence de composants organiques, l'urée est un produit très recherché en horticulture. Souvent solubilisé dans l'eau, il est pulvérisé sur les feuilles des plantes; mais dans ce cas, on utilise des solutions faiblement concentrées afin d'éviter la plasmolyse.

Les engrais phosphatés (P_2O_5): les sols tropicaux sont généralement caractérisés par des carences en phosphore (P). Pourtant, le phosphore est un nutriment de base qui, comme l'azote, contribue aux protéines essentielles des plantes. Les carences ne sont pas toujours dues à l'absence du phosphore, mais à la fixation intense dans les sols contenant les hydroxydes de fer et d'aluminium. Le phosphore n'étant pas un élément fertilisant très mobile, et ne pouvant pas être facilement perdu par lessivage, l'application d'engrais phosphatés peut être considérée comme un bon investissement rentable sur plusieurs années. Avec des apports de matière organique au sol, le phosphore peut être plus mobile (Brouwer et Powell, 1993), et l'érosion peut causer des pertes substantielles en découpant la couche superficielle fertile du sol.

A cause de la faible mobilité du phosphore, il est préférable d'apporter les engrais phosphatés à proximité des plantes, par épandage en bandes par exemple. La faible mobilité de P, et le fait que les plantes en ont besoin lors du stade initial de leur développement, de la floraison et de la fructification, les engrais phosphatés sont généralement apportés avant le semis ou immédiatement après (Youdewei et *al.*, 1986).

Les engrais potassiques (K_2O): le potassium est indispensable aux plantes pour la formation et le transfert des hydrates de carbone dans la photosynthèse, et aussi pour la synthèse des protéines. Il est particulièrement important pour la formation des fruits, feuilles

et tiges, et la plante en a besoin pour renforcer sa structure. En agriculture, la potasse contribue à l'augmentation des rendements. Les chlorures de potasse (KCl) sont les engrais potassiques simples les plus utilisés; ils contiennent au moins 60 % de K_2O . Mais ils créent parfois des problèmes (toxicité) sur les cultures sensibles aux ions chlorures (cultures maraîchères): on préfère, à la place des chlorures, les sulfates de potasse (K_2SO_4), plus chers, mais très peu nocifs. Le sulfate de potasse qui contient au moins 48 % de K_2O soluble dans l'eau, est un engrais de qualité qui peut être utilisé sur tous les sols et toutes les cultures.

I.4.4.3.4 Engrais composés

Les engrais composés doivent contenir au moins 12 % d'éléments fertilisants, dont au moins 3 % de chaque élément présent. Ces engrais sont fortement appréciés, à cause de l'économie de travail qui résulte de leur application. Le principal désavantage des engrais composés de mélange est leur teneur assez faible en éléments fertilisants. En plus, tous les engrais simples ne peuvent pas être mélangés: le mélange des engrais ammoniacaux avec des produits basiques conduit à une perte d'ammoniac; les engrais phosphatés solubles dans l'eau (Ex: superphosphate) ne peuvent pas être mélangés avec des engrais contenant de la chaux libre, à cause de la précipitation de ces phosphates solubles; les engrais hygroscopiques (absorbant facilement l'humidité) ne sont mélangés avec d'autres engrais que peu avant l'épandage, afin d'éviter la conglomération (solidification); enfin, le mélange de certains engrais peut provoquer une élévation de température si forte qu'elle peut entraîner des incendies ou explosions (Tableau IV).

I.4.4.3.5 Formulation d'un engrais composé à partir d'engrais simples

Quand on veut préparer des mélanges d'engrais d'une formule déterminée, il est nécessaire de faire des calculs à partir des compositions nutritives des différents engrais simples.

Exemple: Formulation de l'engrais composé 10-6-6 à partir de:

- sulfate d'ammonium.....20 % N;
- superphosphate.....16 % P_2O_5 ;
- chlorure de potasse.....60 % K_2O .

Dans la composition mixte, il faut:

- $(10 \times 100) / 20 = 50$ parties de sulfate d'ammonium;
- $(6 \times 100) / 16 = 37,5$ parties de superphosphate;

- $(6 \times 100) / 60 = 10$ parties de Chlorure de potasse.

Soit un total de $50 + 37,5 + 10 = 97,5$ parties. Il ne reste plus qu'à ajouter $100 - 97,5 = 2,5$ parties de matière de charge (ou matière inerte). Dans la pratique, le total des parties doit être proche de 100, de sorte qu'il y ait peu de matière de charge à incorporer. Comme matière de charge, on utilise le sable, la craie, etc...

I.4.4.3.6 Gestion technique de la fertilisation

Les engrais doivent être dosés correctement, et distribués aux bons moments. En quantités trop faibles, ils ne servent à rien; en quantités trop fortes, ils n'arrivent pas à être complètement assimilés par les plantes: une partie est alors entraînée par les eaux d'infiltration ou de ruissellement (ce processus coûte cher pour rien); pire encore, les excès peuvent empoisonner/intoxiquer les plantes et les tuer. Le choix d'une formule d'engrais, des doses et des modes d'application dépendent de nombreux facteurs: les caractéristiques du sol (sa composition, ses caractéristiques hydriques, sa capacité à retenir l'engrais, etc...); les sols argileux et riches en humus tiennent mieux l'engrais à la disposition des racines que les sols sableux ou gravillonnaires; les caractéristiques des plantes qu'on veut fertiliser (enracinement, besoins en nutriments, cycles végétatif et reproductif); les effets recherchés (on peut rechercher une fertilité immédiate liée à un seul cycle de culture, ou une fertilité à plus long terme), liée à plusieurs cycles; les effets de l'engrais sur le sol (les engrais peuvent acidifier le sol ou au contraire, l'alcaliniser; ils peuvent augmenter sa salinité; ils peuvent apporter des oligo-éléments ou, au contraire, en provoquer la disparition; les oligo-éléments sont des substances minérales disponibles en très faible quantité dans le sol, mais dont les plantes ont absolument besoin pour être bien alimentées); les caractéristiques de l'engrais lui-même (dissolution rapide -N- ou lente -P₂O₅, K₂O-, simplicité ou complexité de sa composition); le coût des engrais et leur rentabilité.

Etant donné le nombre considérable de facteurs en jeu, l'expérimentation est très importante en matière d'application d'engrais. Elle doit être réalisée dans les exploitations agricoles, à partir des conseils des chercheurs, vulgarisateurs, distributeurs et des exploitants agricoles eux-mêmes (Dupriez & De Leener, 1983; Anonyme, 1998).

Tableau IV. Compatibilité des engrais simples/amendements lors de la formulation des engrais composés (Aelterman, 1981).

A: Mélange possible; B: Mélange peu avant usage; 0: Incompatibilité.

(a): Sulfate d'ammonium: A; Phosphate d'ammonium: B. (b): KNO₃: B; NaNO₃: 0. (c): KNO₃: A; NaNO₃: B.

Engrais simple	Engrais simples/amendements											
	Cyanamide de Ca	AmSO ₄ AmPO ₄	NH ₄ NO ₃	Ca(NO ₃) ₂	KNO ₃ NaNO ₃	Urée	Super phosphate	Scories Phosphal	Phosphate bicalcique	K ₂ SO ₄ KCl	Chaux	CaCO ₃ Craie
AmSO ₄ , AmPO ₄	0											
NH ₄ NO ₃	0	(a)										
Ca(NO ₃) ₂	B	0	A									
KNO ₃ , NaNO ₃	B	B	A	(b)								
Urée	B	B	B	B								
Superphosphate	0	A	B	0	(c)	B						
Scories, Phosphal, Phosphate naturel	A	0	0	B	0	0						
Phosphate bicalcique	A	A	A	B	A	A	0	A				
K ₂ SO ₄ , KCl	A	A	B	B	A	A	A	A	A			
Chaux	A	0	0	B	(b)	0	0	A	B	B		
CaCO ₃ , Craie	A	0	A	B	A	B	0	A	A	B	A	
Engrais organiques	0	A	A	0	A	A	A	0	A	A	0	

Le tableau V ci-dessous donne la teneur en nutriment des engrais minéraux, simples et composés, fréquemment utilisés en zone tropicale.

Tableau V. Teneur en nutriments des engrais minéraux (simples et composés) fréquemment utilisés en zone tropicale (Defoer et *al.*, 2000).

a: 15-15-15 est un engrais composé dosant 15 % N, 15 % P₂O₅ et 15 % K₂O.

NB: Sur les emballages contenant les engrais, la teneur en nutriments est souvent exprimée en pourcentage de N, P₂O₅ et K₂O.

Les facteurs de conversion: P₂O₅ = P x 2,2886 ou P = P₂O₅ x 0,4369;

K₂O = K x 1,2046 ou K = K₂O x 0,8302.

Engrais minéraux	Teneur en nutriments		
	%N	%P	%K
Engrais simples:			
• Sulfate d'ammonium	21		
• Nitrate d'ammonium	33		
• Nitrate de calcium	15,5		
• Calcium-nitrate d'ammonium	25		
• Urée	46		
• Superphosphate simple		9	
• Superphosphate triple		20	
• Sulfate de potassium			42
• Chlorure de potasse			33-50
Engrais composés:			
• Phosphate di-ammonium (N-P)	18	21	
• Nitrate de potassium (N-K)	14		37
• 15-15-15 ^a	15	6,5	12,4

CHAPITRE II
MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

II.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS

II.1.1 Constitution de la collection

Les investigations commencent par la collection de 41 accessions de piments dans les régions de l'Ouest (1000 - 1400 m d'altitude), Nord-Ouest (1400 - 1800 m), Littoral et Sud-Ouest (0 - 600 m) et Centre (600 - 800 m) du Cameroun (Tableau VI). Les lieux de collecte sont choisis en fonction de leur réputation à la culture du piment, et de la disponibilité d'une gamme morphologique aussi diversifiée que possible des différents échantillons de piments. Ces lieux sont les marchés de vivres urbains et surtout ruraux, où des efforts de conservation de la diversité biologique sont encore faits; les jardins horticoles à but commercial des zones péri-urbaines et rurales, où un accent particulier est mis sur les variétés sélectionnées ayant une grande valeur marchande; les jardins de case, où existe encore des variétés locales très rustiques, ayant fait l'objet d'une longue sélection variétale par les paysans au cours des générations et les magasins spécialisés dans la commercialisation des semences et intrants agricoles (ADER, PHYTOGRAIN, TROPICASEM, etc...), où des semences importées en provenance des firmes étrangères sont disponibles.

II.1.2 Préparation des semences

Les échantillons collectés sont étiquetés et conservés dans des seaux en plastique pendant 8 à 10 jours au laboratoire. Pendant ce temps, le mésocarpe se décompose totalement. Ce processus a pour objectifs de parachever la maturation physiologique des semences à l'intérieur du fruit, favorisant ainsi leur germination et la vigueur ultérieure des plants, et de faciliter leur extraction du fruit.

En portant des gants en plastique (la capsaïcine irrite la peau), on macère les fruits décomposés; on procède ensuite à des rinçages successifs, en éliminant à chaque tour les déchets: pédoncules, exocarpe, mésocarpe, graines vides qui surnagent. A la fin de cette opération, seules les semences propres restées au fond du récipient sont conservées. Elles sont ensuite mises à sécher à l'ombre sur une surface propre. En les retournant 4 à 6 fois par jour, elles sèchent au bout de 4 à 5 jours, jusqu'à un taux d'humidité de 10-12 % (test fait à l'aide d'un humidimètre de marque Dickey-John). Les semences sont ainsi prêtes pour le germer.

Tableau VI . Codification et quelques caractéristiques morphologiques des 41 accessions de piment collectées.

• : Altitude (m) du lieu de collecte de l'accession.

FFr : Forme du fruit; PFM : Pigmentation du fruit à maturité; LFr : Longueur du fruit;

DFr : Diamètre du fruit.

Lieux de collecte	Codification des accessions	FFr	PFM	LFr (cm)	DFr (cm)	Rendement en fruits (t/ha)
Bamenda (1 800 m)•	CPC02	triangulaire	rouge	3	2,6	1,13
	CPC03	campanulée	rouge	4,8	2,9	1,81
	CPC04	presque arrondi	rouge	2,8	2,4	0,97
	CPC06	campanulée	jaune	4	1,9	0,79
Mbouda (1 400 m)	CPC08	campanulée	jaune	6,4	3,2	0,9
	CPC09	triangulaire	rouge	4,1	3,4	0,84
	CPC10	effilée	jaune	8,3	2,8	0,51
	CPC11	presque arrondi	rouge	1,4	0,8	0,14
Foumbot (1 000 m)	CPC12	effilée	rouge	1,3	0,5	0,16
	CPC13	effilée	rouge	5,8	1,4	1,24
	CPC14 (Thaïlande)	effilée	rouge	3,4	1,2	3,81
	CPC15 (Local)	effilée	rouge	2,2	0,5	0,48
Bafang (1 200 m)	CPC17	campanulée	rouge	6,8	3,5	1,1
	CPC18	campanulée	jaune	8,1	2,9	0,82
	CPC19	campanulée	rouge	5,2	4,7	0,95
	CPC22	campanulée	rouge	6,4	3,5	1,32
Nkongsamba (700 m)	CPC23	presque arrondi	rouge	4,2	4,5	1,59
	CPC24	tasée	rouge	5,6	4,2	0,75
	CPC25	tasée	rouge	3,9	3,6	0,91
	CPC26 (Big sun)	tasée	jaune	4,6	4,2	2,52
	CPC27	tasée	rouge	5,3	3,1	2,31
	CPC28	triangulaire	rouge	5,2	3,4	2,05
	CPC29 (Safi)	triangulaire	rouge	5,4	2,6	3,12
Njombé-Penja (80 m)	CPC30	campanulée	rouge	3,4	4,1	1,54
	CPC31	presque arrondi	rouge	4	2,3	1,27
	CPC32	campanulée	rouge	7,5	3,3	1,63
	CPC33	triangulaire	rouge	4,8	3,7	2,53
	CPC34	triangulaire	jaune	7,7	2,7	1,46
	CPC35	campanulée	rouge	5,1	3,2	2,15
	CPC36	campanulée	rouge	6,1	3,4	1,04
Douala (0 m)	CPC37	campanulée	jaune	5,6	3,7	1,43
	CPC38	effilée	jaune	7,6	2,7	0,66
	CPC39	campanulée	rouge	6,2	2,6	0,54
	CPC40	triangulaire	rouge	4,3	2	3,1
Buea (600 m)	CPC41	presque arrondi	jaune	4,4	3,6	0,47
	CPC42	presque arrondi	rouge	2,7	1,3	0,51
	CPC43	campanulée	jaune	7,8	3,2	0,4
	CPC44	triangulaire	rouge	4,9	2,9	0,11
Yaoundé (700 m)	CPC45	triangulaire	rouge	4,3	4	1,03
	CPC46	triangulaire	jaune	4,5	4,3	0,77
	CPC47	triangulaire	rouge	5,1	3,9	1,04
Total	41					

II.1. 3 Mise en place de la pépinière

II.1.3.1 Germeoir

Le terreau est constitué par la terre superficielle, riche en humus. Il permet d'avoir à la fois un bon drainage et une bonne capacité de rétention d'eau. Le terreau ainsi choisi contient généralement des micro-organismes (*Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., *Fusarium* spp., etc...), qui causent des fontes de semis après la levée des semences: pour cette raison, le terreau est stérilisé à la chaleur humide pendant 30 mn environ. Au terme de ce temps, le terreau est débarrassé des micro-organismes ci-dessus cités, et même des graines de mauvaises herbes nuisibles au germeoir. Il est ensuite étalé dans des caissettes en plastique ayant un fond perforé, afin de laisser percoler les eaux d'arrosage. Le terreau est ainsi prêt à recevoir les semences de piment initialement préparées.

Le semis est réalisé dans des sillons de 1 cm de profondeur, tracés parallèlement sur le terreau. Les graines sont semées à la dose de 40 g/m². Elles sont ensuite recouvertes d'une fine couche de terre stérilisée; l'ensemble est tassé légèrement avec la paume de la main, pour assurer un meilleur contact graine-substrat de germination. Chaque lot de semences est soigneusement étiqueté. L'arrosage est fait quotidiennement, en vue d'assurer une levée et un développement homogènes des plantules. Le germeoir est ombragé légèrement: cette opération a pour but de limiter la vitesse d'évaporation des eaux d'arrosage, donc de créer au niveau du germeoir un micro-climat favorable à la germination des semences et au développement ultérieur des plantules. La durée du germeoir est de 30 à 45 jours (Fig. 6).



Fig. 6. Vue générale des plantules de piment au germeoir.

II.1.3.2 Pépinière

Des sachets en plastique perforés de contenance 0,25 l (12 cm x 15 cm) sont utilisés. Ils sont remplis d'un terreau constitué par de la terre superficielle non stérilisée, riche en humus. Après le remplissage, les sachets sont disposés en bandes de 50 - 60 cm de largeur sur 10 m de long environ, séparées entre elles par des couloirs de circulation de 40 à 50 cm de large. Ces couloirs sont utilisés pour effectuer des tâches d'entretien de la pépinière (arrosage, désherbage, fertilisation, etc...). Après la mise en place des sachets, on procède au repiquage des plantules.

Des plantules de 5 à 10 cm de hauteur sont sélectionnées du germeoir. On procède ensuite au parage et à la transplantation dans les sachets rangés (1 plantule par sachet). A la fin du repiquage, on arrose copieusement. La pépinière est légèrement ombragée avec des feuilles de palmiers à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) afin de réduire l'intensité d'évaporation des eaux d'arrosage. Cet ombrage est réduit progressivement du 20^e au 30^e jour de la pépinière; cette opération permet aux plants de s'endurcir jusqu'au moment de la transplantation en champ qui a lieu vers le 45^e jour environ. Certaines opérations d'entretien sont menées au cours de la période de croissance de la pépinière: arrosages, remplacement des plantules mortes, lutte contre les ravageurs (escargots, criquets), lutte contre les mauvaises herbes, fertilisations (Fig. 7).



Fig. 7. Vue générale des plants de piment en pépinière.

L'arrosage est une opération indispensable qui assure la reprise de la croissance de la plantule après le choc de transplantation, et son développement dans le sachet en plastique. Elle est effectuée quotidiennement. Ici, excès d'eau et sécheresse sont également nocifs.

Une prospection journalière de la pépinière est faite. Cette opération permet de détecter dans les bandes les plants morts, et de les remplacer immédiatement par des plantules plus développés prélevés au germoir. Les étiquettes des différentes accessions au germoir et dans les bandes de la pépinière permettent d'éviter toute confusion.

Les plantules de piment en croissance sont sensibles à la présence des mauvaises herbes, qui entrent en compétition pour l'espace, l'eau et les nutriments. Elles sont donc éliminées manuellement avant que le système racinaire ne soit bien établi. Ce désherbage concerne aussi bien les sachets en plastique, classés dans les bandes, que les couloirs de circulation.

Dans la zone d'étude, les ennemis les plus redoutables des plantules de piment en pépinière sont les escargots et les grillons; les premiers dévorent les feuilles des plants et les derniers coupent systématiquement les tigelles. La méthode de lutte la plus appropriée consiste à utiliser des appâts empoisonnés (mélange de temik® 10 G -10 % Aldicarbe- aux tranches mûres de papaye ou au son de maïs) contre les mollusques, et à pulvériser les bandes des plants avec un insecticide à action répulsive (karaté® EC - 20 g/l de Lamdacyhalothrine) contre les acridiens.

Lorsque la croissance des plants traîne, on apporte une pincée (5 g) d'engrais azoté (urée ou sulfate d'ammoniaque) au bord du sachet, et l'arrosage suit immédiatement après l'épandage; le contact entre les cristaux d'engrais simples et la tigelle peut être fatal; pour cette opération, on utilise aussi un engrais liquide tel le fertigofof®, à la dose de 100 cc par arrosoir de 15 l d'eau. La durée des plants en pépinière est de 30 à 45 jours.

II.1.4 Mise en place et conduite de l'essai

L'essai est mis en place à l'IRAD (Institut de Recherche Agricole pour le Développement), Station Polyvalente de Njombé, Cameroun (80 m d'altitude; température annuelle moyenne: 27 °C; pluviométrie annuelle moyenne: 2600 mm; sol volcanique fortement humifère). Les 41 accessions sont plantées suivant un bloc de Fisher en 3 répétitions. Dans chaque répétition, la parcelle élémentaire est constituée de 4 lignes de 5 plants chacune, soit un total de 20 plants. Les lignes sont distantes de 1 m l'une de l'autre et sur la ligne, les plants sont à leur tour distants de 1 m l'un de l'autre (soit une densité de plantation de 10 000 plants/ha). La mise en place est faite à plat sur un terrain labouré

mécaniquement. Deux semaines après la mise en place de l'essai, donc au terme du stress de transplantation, les plants reçoivent 25 g d'engrais azoté (urée à 46 % N) pour favoriser leur développement végétatif, et 50 g/plant d'engrais complexe NPK (20-10-10) à la floraison, en vue de stimuler leur phase de vie reproductive. Ces deux phases critiques de développement des plants ont eu lieu en pleine saison sèche (Janvier - Février), et la parcelle expérimentale est irriguée à l'aide d'un système d'aspenseurs à tourniquets 2 fois par semaine. Au cours du développement végétatif des plants, le désherbage manuel est fait dès que nécessaire. La fertilisation à l'engrais complexe NPK (20-10-10) est effectuée mensuellement tout au long du cycle de floraison des plants.

II.1.5 Sélection des caractères à observer

Au cours du développement des plants, 30 caractères morphologiques sont observés et/ou mesurés. Ils sont relatifs, d'une part, au développement végétatif des plants de piment, et, d'autre part, à leurs organes reproducteurs. La sensibilité des différentes accessions aux bio-agresseurs (maladies et ravageurs) est aussi prise en considération (Tableau VII).

Tableau VII. Caractères morphologiques observés.

A- Caractères du développement végétatif:

- 1- le port végétatif de la plante (PV): 3 = prostré; 5 = compact; 7 = érigé.
- 2- la hauteur de la plante (HP), en cm.
- 3- le type de croissance végétative (TCV): 1 = indéterminé; 2 = déterminé.
- 4- la forme des feuilles (FF): 1 = deltoïde; 2 = ovale; 3 = lancéolée.
- 5- la longueur de la feuille (LoF), en cm.
- 6- la largeur de la feuille (LaF), en cm.
- 7- la couleur de la feuille (CFl): 1 = vert-pâle; 2 = verte; 3 = vert-foncée.
- 8- la circonférence de la tige (CT), en mm.
- 9- la hauteur de la tige du sol au premier niveau de branchement (HTB), en cm.
- 10- le nombre de branches primaires (NBP), au premier point de branchement.
- 11- la largeur de la canopée (LC), en cm.

B- Caractères des organes reproducteurs:

- 12- l'intervalle plantation-floraison (IPF), en jours.
- 13- le nombre de fleurs par bourgeon floral (NFB).
- 14- la position de l'inflorescence à l'anthèse (PIA): 3 = pendante; 5 = intermédiaire; 7 = érigée.
- 15- la couleur de la corolle (CC): 1 = blanche; 2 = jaunâtre; 3 = jaune-verdâtre; 4 = violacée; 5 = autres.
- 16- la forme des fruits (FFr): 1 = effilée; 2 = presque arrondie; 3 = triangulaire; 4 = campanulée; 5 = tassée; 6 = autres.
- 17- la pigmentation des fruits avant la maturation (PFAM): 1 = verte; 2 = jaune; 3 = blanche; 4 = rouge; 5 = pourpre; 6 = brune; 7 = noire; 8 = autres.
- 18- la pigmentation des fruits après la maturation (PFM): 1 = verte; 2 = jaune; 3 = blanche; 4 = rouge; 5 = pourpre; 6 = brune; 7 = noire; 8 = autres.
- 19- la longueur du fruit (LFr), en cm.
- 20- le diamètre du fruit (DFr), en cm.
- 21- l'aspect de la surface du fruit (SFr): 1 = lisse; 2 = semi-ridé; 3 = ridé.
- 22- le nombre de fruits par plante (NFP).
- 23- le poids de fruits par plante (PFP), en g.
- 24- le nombre de graines par fruit (NGF).

25- le poids de 1 000 graines (PMG), en g.

26- la couleur des graines (CG): 1 = jaune-foncé; 2 = brune; 3 = noire; 4 = autres.

27- le cycle de floraison (CF), en jours.

C- Sensibilité aux maladies et ravageurs:

28- la sensibilité de la plante aux maladies virales (SMV): 1 = résistante; 2 = tolérante; 3 = sensible; 4 = très sensible.

29- la sensibilité des fruits aux piqûres de mouches de fruits (SMF): 0 = pas; 1 = très peu; 2 = peu; 3 = assez; 4 = beaucoup.

30- la sensibilité des plants à la fusariose (SPF): 1 = résistante; 2 = tolérante; 3 = sensible; 4 = très sensible.

II.1.6 Méthodes d'évaluation des caractères

Les caractères quantitatifs (poids de fruits par plante, hauteur de la plante, intervalle plantation-floraison, etc...) sont mesurés en utilisant les unités du système international (U.S.I.) telles le gramme (g), le centimètre (cm), le jour (j), etc..., tandis que les caractères qualitatifs (type de croissance végétative, forme des feuilles, forme des fruits, etc...) sont évalués suivant des critères subjectifs tels que contenus dans les descripteurs du genre *Capsicum* (Anonyme, 1995).

II.1.6.1 Caractères de la croissance végétative

Les caractères de la croissance végétative sont observés après la nouaison des premiers fruits: à cette phase, les organes végétatifs sont au maximum de leur développement:

Au sein des différentes accessions, les feuilles varient selon leur forme, leur couleur, leur longueur et leur largeur. La longueur et la largeur sont mesurées «in situ» à l'aide d'un mètre-ruban, dans les portions du limbe foliaire où les dimensions sont les plus grandes (en cm). La forme de la feuille est déterminée suivant un critère subjectif variant entre 1 et 3, où 1 = deltoïde; 2 = ovale; 3 = lancéolée. La couleur de la feuille est déterminée de la même manière, où 1 = vert-pâle; 2 = verte; 3 = vert-foncée;

Le port végétatif (PV) est déterminé lorsque 50 % des plants de l'accession considérée portent des fruits mûrs. Il représente un caractère distinctif des différentes variétés de piments. Le port végétatif peut être prostré, compact ou érigé;

La hauteur de la plante (HP) est enregistrée à l'aide d'une règle en bois graduée en centimètres. L'observation est faite lorsque le premier fruit commence à mûrir parmi 10 des 20 plants de l'accession considérée (50 % des plants);

Le type de croissance végétative (TCV) est aussi un caractère distinctif des différentes accessions chez les piments. Il est indéterminé lorsque la floraison/fructification a lieu à mi-hauteur des plants, et évolue progressivement vers les extrémités apicales, et déterminé lorsque les fruits se forment à la cyme des plants, d'où ils sont facilement visibles;

La circonférence de la tige (CT) et sa hauteur du sol jusqu'au premier point de branchement (HTB) varient aussi d'une accession à l'autre. Elles sont mesurées (en cm) à l'aide d'un mètre-ruban. Le nombre de branches primaires au premier point de branchement (NBP) est aussi compté, car il constitue un paramètre de différenciation entre les accessions;

La largeur de la canopée (LC) est mesurée aux points où les dimensions sont les plus grandes possibles. Ce paramètre donne une idée de la couverture du sol par la variété

considérée, donc peut influencer le choix des distances de plantation, ou la nature des plantes à cultiver en association avec l'accession de piment considérée.

II.1.6.2 Caractères des organes reproducteurs: inflorescences et fruits

Ils sont observés lorsque les plants ont atteint la phase de vie reproductive:

Le nombre de jours entre la transplantation et la floraison (IPF) est enregistré, la floraison chez une accession étant considérée comme la période à laquelle 50 % des plants ont au moins une fleur ouverte;

On note aussi le nombre de fleurs par bourgeon floral (NFB), la position de l'inflorescence à l'anthèse (PIA) et la couleur de la corolle (CC). La position de l'inflorescence à l'anthèse est déterminée suivant un critère subjectif variant entre 3 et 7, où: 3 = pendante; 5 = intermédiaire; et 7 = érigée. La couleur de la corolle est, elle aussi, déterminée suivant une classification subjective variant entre 1 et 5, où: 1 = blanche; 2 = jaunâtre; 3 = jaune-verdâtre; 4 = violacée et 5 = autres;

Entre différentes accessions, les fruits varient aussi selon leur pigmentation avant (PFAM) et à la maturation (PFM). Des variations existent aussi au niveau de la forme et de l'aspect de la surface du fruit, leurs dimensions (longueur et diamètre). A chaque récolte, on note par accession le nombre de fruits mûrs récoltés ainsi que leur poids (g);

Le potentiel de rendement en graines (NGF) est déterminé après extraction, lavage, séchage et pesage des graines. Ensuite, on note le poids de 1000 graines (PMG) à l'aide d'une balance de précision, ainsi que la couleur des graines (CG) par accession;

La durée de la vie reproductive varie aussi d'une accession à l'autre; pour cette raison, le cycle de floraison (CF) est noté (en jours).

II.1.6.3 Sensibilité aux maladies et ravageurs

Au cours de l'expérience, on note à intervalles de 30 jours, la sensibilité des différentes accessions:

- à la fusariose, due aux attaques des champignons (*Fusarium* spp.), responsables du flétrissement suivi de la mort des plants du piment; les symptômes sont évalués selon la sévérité de l'infection, suivant une échelle subjective allant de 1 à 4, où: 1= résistante; 2 = tolérante; 3 = sensible et 4 = très sensible (Tableau VIII);

Tableau VIII. Méthode d'évaluation de la sensibilité des plants aux maladies et ravageurs (IPGRI, 1995).

Echelle de notation	Description	Expression en termes de résistance
A. Maladies virales		
1	Absence de symptômes visibles sur les feuilles	Résistante
2	Plages légèrement chlorotiques sur toutes les feuilles, ou légères déformations à la base des feuilles	Tolérante
3	Taches chlorotiques prononcées sur 60 à 75% de la surface foliaire, rabougrissement important des plants.	Sensible
4	Taches chlorotiques très prononcées sur plus de 75 % de la surface foliaire, plants gravement rabougris	Très sensible
B. Maladies fongiques: Fusariose		
1	Absence de symptômes visibles (plants apparemment sains)	Résistante
2	Léger jaunissement initial du feuillage, suivi d'un léger flétrissement des feuilles supérieures	Tolérante
3	Jaunissement prononcé du feuillage, et flétrissement prononcé et permanent de l'ensemble du feuillage, les feuilles restant attachées à la plante	Sensible
4	Flétrissement très prononcé et mort de la plante	Très sensible
C. Ravageurs: Mouches de fruits		
0	Absence de symptômes visibles (aucun fruit chuté avant la maturité)	Très résistante (Immunité)
1	2 à 5 fruits chutés en moyenne par plant avant la maturité	Résistante
2	6 à 10 fruits chutés en moyenne par plant avant la maturité	Tolérante
3	11 à 20 fruits chutés en moyenne par plant avant la maturité	Sensible
4	Plus de 20 fruits chutés en moyenne par plant avant la maturité	Très sensible

- aux dégâts de mouches de fruits (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp., etc...) qui pondent leurs œufs dans les fruits et causent ainsi leur chute avant la maturité. Cette infection est évaluée en fonction de la quantité relative des fruits chutés avant la maturité, selon une échelle subjective allant de 0 à 4, où: 0 = pas de chute (immunité totale); 1 = très peu de fruits chutés; 2 = peu de fruits chutés; 3 = assez de fruits chutés et 4 = beaucoup de fruits chutés

- à la virose, maladie responsable de mouchetures suivies de distorsions plus ou moins marquées de limbes foliaires; les symptômes sont évalués de manière identique aux dégâts de la fusariose.

II.1.6.4 Analyses statistiques

On procède aux analyses statistiques multivariées (AMV), avec le logiciel d'analyse statistique SAS: cette méthode d'analyse permet de traiter des données provenant de nombreuses observations faites sur plusieurs variables et ayant un certain degré inhérent d'interdépendance entre elles, compte-tenu du fait que les données enregistrées réunissent de nombreuses variables de typologies variées, comme c'est le cas lors de cette expérience. Les méthodes d'analyse des multivariées utilisées sont: l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle des Composantes Multiples (AFCM), et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

- L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode descriptive multidimensionnelle, qui permet d'analyser des tableaux de données quantitatives de n lignes et p colonnes dans lesquels, les lignes représentent les individus (accessions) et les colonnes les variables (caractères). On procède par une réduction de la dimensionnalité des tableaux des données aux principaux facteurs d'interaction entre variables: dans le cas particulier de cette étude, seuls les caractères quantitatifs ayant une variance discriminatoire d'au moins 40 % sont considérés comme représentatifs. Enfin, on procède à la représentation graphique des interactions afin de résumer de façon succincte l'essentiel de l'information contenue dans les données. Cette technique descriptive permet d'étudier les similarités et dissimilarités morphologiques qui existent entre les accessions afin de mieux les regrouper et mettre en évidence les dimensions organisant lesdites relations.

On procède aussi à une analyse de la variance (ANOVA) sur l'ensemble des caractères quantitatifs les plus représentatifs pour les 41 accessions de la collection, afin de déterminer les similarités et dissimilarités morphologiques existant entre les différentes accessions; toutes

fois que les différences sont significatives, on sépare les moyennes par le test de Student Newman Keuls.

- L'Analyse Factorielle des Composantes Multiples (AFCM) est une méthode statistique d'analyse des données qui permet d'analyser et de décrire graphiquement les données catégorielles présentées sous forme d'un tableau de contingence. Un tableau de contingence étant un tableau à deux dimensions constitué par le croisement de deux variables qualitatives à catégories nominales (pigmentation des fruits avant la maturité, etc.) ou ordinale (forme des fruits, etc.). Dans le cas particulier de cette étude, seuls les caractères qualitatifs ayant une variance discriminatoire d'au moins 40 % sont considérés comme représentatifs. L'AFCM est utilisée pour déterminer et hiérarchiser toutes les dépendances entre les lignes et les colonnes du tableau de contingence.

- La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est une méthode d'analyse qui permet de partitionner ou de repartitionner un ensemble d'individus (accessions) sur lesquels on dispose de certaines informations en classes ou catégories homogènes (clusters). Il s'agit en fait d'optimiser un critère dans le but de regrouper les individus dans des classes chacune la plus homogène possible, et entre elles les plus distinctes possible. Elle conduit à la constitution d'un arbre de classification (dendrogramme) montrant le passage des n individus au groupe total par une succession de regroupements.

II.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS DES PIMENTS

II.2.1 Matériel expérimental

II.2.1.1 Matériel végétal

Trois variétés sélectionnées de piment: Safi (V1), Big sun (V2) et Thaïlande (V3) et une variété locale (témoin) constituent le matériel végétal utilisé pour cette expérience. Safi et Big sun sont des cultivars de piments dits antillais, sélectionnés par la société semencière internationale Technisem; ce sont des cultivars à gros fruits rouges et jaunes respectivement. Les variétés Thaïlande (Technisem) et Local (prélevée dans les champs paysans) sont dits piments oiseaux, en raison de la petite taille de leurs fruits à maturité. La préparation des semences et la mise en place de la pépinière sont faites suivant les méthodes décrites en II.1.2 et II.1.3 respectivement ci-dessus.

II.2.1.2 Produits chimiques (pesticides)

En vue de trouver une solution aux contraintes parasitaires (fusariose, mouches de fruits et mouches blanches vectrices de viroses), on a recours à un insecticide (cypercal® 50

EC; matière active: 50 g/l de cyperméthrine), un fongicide (trimangol[®] 80 WP; matière active: 800 g/kg de mancozèbe), et une association de ces deux produits chimiques de synthèse (cypercal[®] 50 EC + trimangol[®] 80 WP). Cypercal[®] 50 EC est utilisé à la dose de 20 ml de produit commercial par pulvérisateur à dos de 15 l d'eau; trimangol[®] 80 WP, lui, est utilisé à la dose de 25 g de produit commercial par pulvérisateur à dos de 15 l d'eau. Avant la pulvérisation, on mélange préalablement la quantité de concentré émulsifiable ou de poudre mouillable dans un litre d'eau, jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène, avant de verser ce dernier dans le pulvérisateur, et enfin, on complète jusqu'à niveau (15 l) avec de l'eau pure.

II.2.2 Mise en place et conduite de l'essai

L'essai est mis en place à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Njombe. Le dispositif expérimental est de type factoriel 4 x 4 (4 variétés de piment x 4 types de traitements chimiques), soit 16 traitements en 3 répétitions:

V1: Safi		A: Insecticide
V2: Big sun	X	B: Fongicide
V3: Thaïlande		C: Insecticide + Fongicide
V4: Local		D:Témoin: aucun traitement chimique

La taille parcellaire est de 5 x 4 m (4 lignes de 5 m de longueur). La distance de plantation est, elle, de 1 x 1 m (soit une densité de plantation de 10 000 plants/ha). Des 4 lignes plantées par parcelle secondaire, les observations sont faites sur les 2 lignes internes, les 2 lignes périphériques limitant l'effet de bordure. La mise en place est faite à plat sur un terrain labouré mécaniquement. Deux semaines après la mise en place de l'essai, donc au terme du stress de transplantation, les plants reçoivent 25 g d'engrais azoté (urée à 46 % N) pour favoriser leur développement végétatif, et 50 g/plant d'engrais complexe NPK (20-10-10) à la floraison, en vue de stimuler leur phase de vie reproductive.

Les traitements chimiques sont effectués chaque semaine sur les parties aériennes des plants de piment, à partir de 2 semaines après la transplantation, et maintenus pendant tout le cycle végétatif et reproductif des plants. Compte tenu de la rémanence de ces produits chimiques, les traitements sont effectués immédiatement après la récolte de fruits mûrs, faite à un rythme hebdomadaire: cette précaution a pour but d'éviter l'accumulation sur les fruits mûrs des résidus de pesticides, qui peuvent être nocifs à la santé des consommateurs de ces denrées horticoles, fortement recherchées sur les marchés aussi bien ruraux qu'urbains.

Dans chaque parcelle secondaire, on note par semaine: nombre de fruits chutés avant la maturité (dégâts des mouches de fruits); nombre de fruits sains récoltés à maturité; poids de

fruits sains récoltés à maturité; nombre de plants flétris et morts (fusariose); incidence des affections virales sur les parties aériennes des plants de piment. Les symptômes de ces maladies et ravageurs sont évalués suivant une échelle subjective telle que décrite au paragraphe II.1.6.3 précédemment.

II.2.3 Analyse statistique des données

L'analyse des données expérimentales est faite à l'aide du logiciel statistique SAS pour l'analyse de variance (Anova), et toutes fois que la différence est significative, la comparaison des moyennes est faite en utilisant le test de Student Newman-Keuls.

II.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES

II.3.1 Matériel expérimental

II.3.1.1 Matériel végétal

Trois variétés sélectionnées de piment: Safi (V1), Big sun (V2), et Thaïlande (V3) et une variété locale (témoin) constituent encore le matériel végétal utilisé pour cette expérience. Des semences issues de ces quatre variétés de piment sont préparées en suivant les étapes décrites en II.1.2 ci-dessus. Elles sont ainsi prêtes pour la mise en place de l'essai.

II.3.1.2 Matériels de conditionnement des semences

Après la préparation, les semences sont conservées dans 5 matériels de conditionnement différents en vue d'examiner leur viabilité: boîtes en verre; boîtes en plastique; sachets en papier; sachets en polyéthylène; sachets en aluminium.

Les boîtes en verre et en plastique sont transparentes, ce qui facilite le contrôle de l'état sanitaire des semences y contenues. Elles ont une contenance totale de 100 ml, et munies d'un bouchon vissable pour limiter les variations notables de température et d'humidité à l'intérieur de la boîte.

Les sachets en plastique (80 μ d'épaisseur) et en aluminium sont taillés aux ciseaux sur des feuilles faites de ces matières, et confectionnés à l'aide d'un soude-sac électrique. Ceux en papier sont confectionnés avec du papier blanc, et les bords sont hermétiquement soudés à l'aide d'une colle liquide de bureau. Leur contenance est aussi de 100 ml.

II.3.2 Mise en place de l'essai

Dans les différents matériels de conditionnement ci-dessus préparés, on introduit 50 g (1 500 graines environ) de semences de chacune des 5 variétés de piment. Chaque échantillon ainsi apprêté est répété 10 fois, chacun correspondant aux différents temps (1 mois) auxquels ils devraient être soumis au test de viabilité.

Le dispositif expérimental est de type factoriel 4 x 5 (4 variétés de piment x 5 matériels de conditionnement des semences) soit 20 traitements en 3 répétitions.

V1: Safi		M1: boîte en verre
V2: Big sun	X	M2: boîte en plastique
V3: Thaïlande		M3: sachet en papier
V4: Local		M4: sachet en polyéthylène
		M5: sachet en aluminium

Les semences ainsi préparées sont conservées pendant 24 semaines au laboratoire, à la température ambiante (Température moyenne: 28 °C; humidité relative: 90 % environ). En vue de déterminer la viabilité des semences, des tests de germination sont faits immédiatement après la préparation des semences, avant que celles-ci ne soient réparties dans les différents milieux de conditionnement; ils sont ensuite répétés sur les échantillons conditionnés, à intervalle de 30 jours pendant une période de 24 semaines (6 mois).

A chaque test, une semence est enterrée à une profondeur de 1 cm environ dans des boîtes en plastique (type boîte de yaourt), préalablement remplie de terre superficielle affinée et stérilisée en serre. Pour chaque variété de piment, on dispose à chaque test, de 20 boîtes en plastique réparties en 3 répétitions (soit 60 boîtes au total). Après le semis, l'arrosage est maintenu chaque jour dans la serre, à l'aide d'une pipette remplie d'eau de robinet, évitant ainsi de déterrer les semences d'une part, et de créer au niveau du substrat des conditions favorables pour la germination des graines, d'autre part.

Le comptage des graines germées a lieu chaque jour pendant une période de 15 jours. Pour déterminer le taux de germination des semences, on mesure l'énergie germinative: ce test donne une idée de la vitalité des semences. Il exprime, en %, le nombre de graines qui lèvent dans un laps de temps relativement court (15 jours). Ce test est important pour le producteur qui peut ainsi estimer le nombre de semences aptes à constituer un lot homogène (Boutherin & Bron, 1989).

Pour estimer le développement des plantules de piment au cours de la conservation des semences, 4 à 5 semences de piment issues de chaque matériel de conditionnement sont mises à germer dans des sachets en polyéthylène perforés de contenance 1 l, initialement remplis de

terre superficielle bien fertile mais non stérilisée. Ici, chaque échantillon est répété 5 fois. Après la germination, (7 à 10 jours après le semis), on procède au démariage, pour ne laisser se développer qu'une seule plantule dans chaque sachet en polyéthylène. L'arrosage est maintenu quotidiennement dans la serre, en vue de créer au niveau du substrat -terre affinée- des conditions favorables à la germination des semences et au développement harmonieux des plantules.

Tous les 30 jours après le semis, dans les sachets en polyéthylène, les observations sont faites sur la hauteur de la plantule (cm), le nombre de feuilles par plantule; ensuite, on sélectionne 4 feuilles au niveau médian de la plantule, et on note par feuille: la longueur (cm) et la largeur (cm).

II.3.3 Analyses statistiques des données

On procède à l'analyse de la variance (Anova), et lorsque les différences sont significatives, les moyennes sont séparées par la méthode de la plus petite différence significative (ppds). Puis, on procède à l'analyse de régression quadratique en utilisant le logiciel statistique SAS pour obtenir des courbes linéaires suivant les différents milieux de conditionnement des semences.

II.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS

II.4.1 Matériel expérimental

II.4.1.1 Matériel végétal

Deux variétés sélectionnées de piment: Safi (V1) et Big sun (V2) constituent le matériel végétal utilisé au cours de cette expérience. La préparation des semences et la mise en place de la pépinière sont réalisées en suivant les étapes décrites en II.1.2 et II.1.3 respectivement ci-dessus.

II.4.1.2 Matériel fertilisant

D'une part, on utilise, au cours de cette expérience, trois types d'engrais simples: urée (46 % N), superphosphate simple (16 % P_2O_5) et sulfate de potasse (48 % K_2O). Ils constituent les sources de macro-éléments N, P, et K respectivement. Ces engrais sont facilement disponibles dans les magasins spécialisés dans la commercialisation d'intrants agricoles aussi bien en milieu rural qu'urbain, et sont vendus à un prix abordable pour un horticulteur, même amateur.

Formulation de l'engrais composé NPK en vue de la fertilisation du piment:

On utilise les engrais simples ci-dessus mentionnées, et les quantités utilisées pour formuler 100 kg d'engrais NPK sont les suivantes:

Urée (46 % N).....42,8 kg;

Superphosphate simple (16 % P_2O_5)..... 22,9 kg;

Sulfate de potasse (48 % K_2O)..... 34,3 kg;

Soit un total de 100 kg d'engrais composé NPK.

Quantité d'éléments fertilisants (N) présente dans les 42,8 kg d'urée:

$$N = (46 \times 42,8) / 100 = 19,6 \text{ kg N};$$

Quantité d'éléments fertilisants (P_2O_5) présente dans les 22,9 kg de superphosphate simple:

$$P_2O_5 = (16 \times 22,9) / 100 = 3,7 \text{ kg } P_2O_5.$$

Quantité d'éléments fertilisants (K_2O) présente dans les 34,3 kg de sulfate de potasse:

$$K_2O = (48 \times 34,3) / 100 = 16,4 \text{ kg } K_2O.$$

L'engrais composé NPK utilisé au cours de cette expérience a donc pour formule:

NPK (19 – 4 – 16).

D'autre part, la fiente de poule est utilisée comme engrais organique. Elle est disponible et bon marché dans les différentes zones de culture de piment au Cameroun.

II.4.2 Mise en place et conduite de l'essai

L'expérience est conduite à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Njombe, Cameroun.

Expérience 1. Formules d'engrais et développement végétatif et reproductif

Le dispositif expérimental est de type factoriel 2 x 9 (2 variétés de piments x 9 formulations fertilisantes), soit 18 traitements en 3 répétitions. Ces derniers sont composés de la fumure organique (fiente de poule) et des engrais simples, seuls et en combinaison entre les trois nutriments (N, P, et K), ainsi qu'il suit:

V1: Safi		T1: 150 kg/ha de N (15 g/pied);
V2: Big sun	X	T2: 80 kg/ha de P (8 g/pied);
		T3: 120 kg/ha de K (12 g/pied);
		T4: 150 kg/ha de N + 80 kg/ha de P (23 g/pied);
		T5: 150 kg/ha de N + 120 kg/ha de K (29 g/pied);
		T6: 80 kg/ha de P + 120 kg/ha de K (20 g/pied);
		T7: 150 kg/ha de N + 80kg/ha de P +

120 kg/ha de K (35 g/pied);

T8: 100 kg/ha de fiente de poule (10 g/pied);

T9: Témoin (sans engrais).

Chaque type d'engrais est appliqué 2 semaines après la transplantation, et ensuite toutes les 4 semaines pendant 4 mois, donc jusqu'à la fin de la vie reproductive des plants de piment.

Expérience 2. Doses d'engrais et développement végétatif et reproductif

Le dispositif expérimental est de type factoriel 2 x 5 (2 variétés de piment x 5 doses d'application d'engrais minéraux et organique), soit 10 traitements en trois répétitions. Il est à noter que les formulations d'engrais minéraux du traitement T7 et d'engrais organique (T8) sont utilisées, aux doses suivantes:

T10: 150 kg/ha de N + 80 kg/ha de P + 120 kg/ha de K (soit 350 kg/ha de NPK), appliquée 2 semaines après la transplantation, en dose unique;

T11: 350 kg/ha de NPK, appliquée 2 fois au cours du cycle reproductif, à 2 et 6 semaines après la transplantation;

T12: 350 kg/ha de NPK, appliquée 3 fois au cours du cycle reproductif, à 2, 6 et 10 semaines après la transplantation;

T13: 350 kg/ha de NPK, appliquée 4 fois au cours du cycle reproductif, à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation;

T14: Identique à T8 de l'expérience 1 (100 kg/ha de fiente de poule), appliquée 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation.

Le traitement T9 de l'expérience 1 sert toujours de témoin.

Expérience 3. Modes d'application d'engrais et développement végétatif et reproductif

Le dispositif expérimental est de type factoriel 2 x 5 (2 variétés de piment x 5 modes d'application d'engrais minéraux et organique), soit 10 traitements en 3 répétitions. Ici, la formulation d'engrais minéraux du traitement T7 (350 kg/ha de NPK) et d'engrais organique du traitement T8 (100 kg/ha de fiente de poule) sont encore utilisées. Aussi, les doses d'application d'engrais minéraux et organique sont celles des traitements T13 (350 kg/ha de NPK, appliquées 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation) et T14: 100 kg/ha de fiente de poule, appliquées 2, 6, 10, et 14 semaines après la transplantation. Les traitements additionnels spécifiques sont:

T15: Placement des engrais minéraux en deux points (à gauche et à droite) du plant de piment, à l'aplomb de la frondaison;

T16: Application des engrais minéraux en deux bandes (à gauche et à droite) de la ligne des plants, à l'aplomb de la frondaison;

T17: Dispersion régulière (*broadcasting*) des engrais minéraux sous la frondaison;

T18: Application en couronne des engrais minéraux tout autour de la plante, à l'aplomb de la frondaison;

T19: Identique à T14 de l'Expérience 2, et en dispersion régulière sous la frondaison.

NB: Le traitement T9 de l'expérience 1 est toujours utilisé comme témoin.

Pour les trois expériences, la taille parcellaire est de 3 x 3 m (4 lignes de 3 m de longueur et 4 plants par lignes, soit 16 plants par parcelle expérimentale). Les écartements entre les plants sont de 1 x 1 m (soit une densité de plantation de 10 000 plants/ha). En vue de réduire la pression parasitaire récurrente pour la culture du piment, on utilise à chaque traitement 2 kg/ha de Trimangol[®] 80 WP (matière active: 800 g/kg de mancozèbe; fongicide utilisé à la dose de 40 g de poudre mouillable par pulvérisateur à dos de 15 l), et 2 l/ha de Cypercal[®] 50 EC (matière active: 50 g/l de cyperméthrine; insecticide utilisé à la dose de 30 ml de concentré émulsifiable par pulvérisateur à dos de 15 l); 10 traitements phytosanitaires au total sont réalisés entre la transplantation et la fin de la récolte des fruits.

II.4.3 Variables observées et/ou mesurées

Les observations sont faites sur: la hauteur de la plante (cm) et la largeur de la canopée (cm) -ces deux paramètres de croissance végétative sont observés après la nouaison des premiers fruits; à ce stade, les organes végétatifs sont au maximum de leur développement; l'intervalle plantation-floraison (nombre de jours entre la transplantation et la floraison, cette dernière étant considérée comme la période à laquelle 50 % des plants ont au moins une fleur ouverte); la durée floraison-fructification (nombre de jours entre la floraison et la fin de la récolte); le nombre et le poids (g) de fruits mûrs récoltés.

II.4.4 Analyse économique des traitements

Les charges de production suivantes sont prises en considération: l'achat des engrais chimiques et organiques, l'achat des pesticides, la main-d'œuvre (conduite de la pépinière, préparation du terrain, transplantation, travaux d'entretien du champ et récoltes de fruits mûrs répétées hebdomadairement). Le coût des engrais minéraux est celui appliqué sur le marché local de Njombé au Cameroun, au moment de la conduite de cette expérience (18 000 FCFA/sac de 50 kg), ainsi que celui de la fiente de poule sèche (2 500 FCFA/sac de 20 kg). Le coût des produits phytosanitaires est celui appliqué dans les

magasins de Njombé à cette même période: 3 500 FCFA/sachet de 1 kg de Trimangol® 80 WP (matière active: 800 g/kg de mancozèbe) et 6 000 FCFA/litre de Cypercal® 50 EC (matière active: 50 g/l de cyperméthrine). Les enquêtes faites auprès des horticulteurs locaux révèlent qu'une main-d'œuvre estimée à 800 hommes-jours est requise pour conduire un hectare de piment du germeoir à la fin de la récolte des fruits (8 mois), à raison de 1 500 FCFA/homme-jour. Sur le marché local camerounais, le seau en plastique de 15 litres est l'unité de mesure pour la commercialisation du piment. Il contient environ 750 fruits, pèse 5 kg et coûte 5 000 FCFA. Enfin, le rapport bénéfice-coût (r) indiquant le bénéfice attendu pour 1 FCFA investi dans la production du piment est aussi calculé.

II.4.5 Analyse statistique des données

Les données collectées sont analysées statistiquement, par la méthode d'analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS; lorsque les différences sont significatives, on procède à la séparation des moyennes par le Test de Student Newman-Keuls.

CHAPITRE III
RESULTATS

CHAPITRE III. RESULTATS

III.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS

III.1.1 Analyse en composantes principales (ACP)

Des 16 caractères quantitatifs mesurés au cours de cette expérience, 8 d'entre eux sont considérés comme les plus représentatifs, permettant de mieux décrire les différentes accessions de la collection de piments. Ces caractères quantitatifs les plus représentatifs ont une variance discriminatoire d'au moins 40 % (Tableau IX).

Tableau IX. Taux d'extraction des différents caractères quantitatifs utilisés pour le regroupement des 41 accessions de piments suivants leurs affinités morphologiques.

NB: Les caractères quantitatifs en gras sont les plus représentatifs.

Caractères quantitatifs	Extraction
Hauteur de la plante (HP)	0,470
Longueur de la feuille (LoF)	0,631
Largeur de la feuille (LaF)	0,703
Circonférence de la tige (CT)	0,600
Hauteur de la tige du sol au premier point de branchement (HTB)	0,060
Nombre de branches primaires	0,249
Largeur de la canopée (LC)	0,660
Intervalle plantation-floraison (IPF)	0,070
Nombre de fleurs par bourgeon (NFB)	0,213
Longueur du fruit (LFr)	0,647
Diamètre du fruit (DFr)	0,496
Nombre de fruits par plante (NFP)	0,146
Poids de fruits par plante (PFP)	0,012
Nombre de graines par fruit (NGF)	0,437
Poids de 1000 graines (PMG)	0,017
Cycle de floraison (CF)	0,253

La première composante contribue pour 36,71 % de la variance, alors que la seconde composante contribue pour 25,00 % de la variation seulement. Les positions relatives des différents caractères quantitatifs permettant de décrire les accessions sont représentées sur la

figure 8. Les caractères quantitatifs les plus représentatifs sont les plus excentrés du point d'intersection des deux axes factoriels (HP, LoF, LaF, CT, LC, LFr, DFr, NGF). Les caractères les moins représentatifs, avec une variance discriminatoire inférieure à 40 %, sont regroupés autour du point d'intersection des deux axes factoriels (HTB, NBP, IPF, NFB, NFP, PFP, PMG, CF). Cette représentation graphique confirme les informations données par le tableau 2 ci-dessus mentionné.

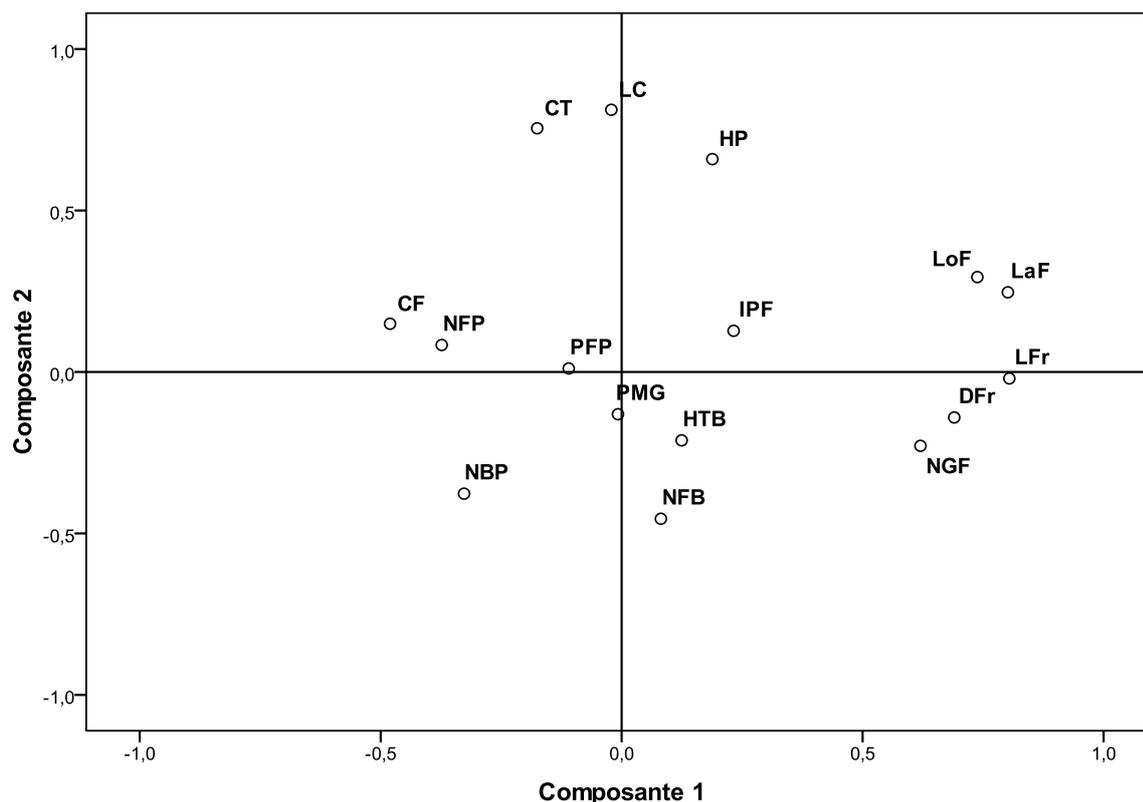


Fig. 8. Projection des caractères quantitatifs mesurés dans le plan formé par les deux premiers axes factoriels issus de l'ACP

III.1.2 Caractéristiques agronomiques des accessions de piments

Il existe une grande variabilité de la hauteur des plants de la collection. En effet, CPC04 et CPC13 occupent les positions extrêmes, avec des hauteurs de 120 cm et 40 cm respectivement (Tableau X). La même variabilité est observée au niveau de la circonférence de la tige (CT), avec des dimensions variant entre 18 mm (CPC19) et 7,0 mm (CPC06) respectivement. La largeur de la canopée (LC) est l'un des caractères au sein desquels existe une plus grande variabilité, la plus grande largeur étant observée au niveau de l'accession CPC34 (150 cm), et la plus petite au niveau de l'accession CPC44 (82 cm); les autres

accessions ont des positions intermédiaires. Les dimensions du fruit: la longueur (LFr) et le diamètre (DFr) sont aussi les caractères morphologiques quantitatifs les plus représentatifs qui montrent une grande variabilité: en effet, la longueur du fruit varie de 8,3 cm (CPC09) à 1,3 cm (CPC12), alors que le diamètre de cet organe reproductif varie de 4,7 cm (CPC19) à 0,5 cm (CPC15). Le nombre de graines par fruit (NGF) est aussi un caractère quantitatif qui montre une grande variabilité pour toutes les accessions; ce nombre varie entre 80 graines par fruit (CPC42) et 5 graines par fruit (CPC11): cette variabilité intéresse les firmes spécialisées dans la production et la commercialisation des semences, le nombre de graines par fruit étant le caractère quantitatif qui leur permet de maximiser leurs revenus. Enfin, les dimensions de la feuille: la longueur (LoF) et la largeur (LaF) sont les deux caractères quantitatifs les plus représentatifs qui montrent une grande variabilité pour toutes les accessions: en effet, la largeur de la feuille au sein des différentes accessions varie de 11,3 cm (CPC10) à 4,6 cm (CPC27) d'une part, et la longueur de la feuille de 5,3 cm (CPC18) à 2,1 cm (CPC09), d'autre part.

III.1.3 Analyse des coefficients de corrélation

L'analyse des coefficients de corrélation (Tableau XI) indique qu'il existe une corrélation positive et hautement significative ($P = 1\%$) entre la hauteur de la plante et la largeur de la feuille ($r = 0,335$), la longueur et la largeur de la feuille ($r = 0,766$), la circonférence de la tige et la largeur de la canopée ($r = 0,555$), le nombre et le poids de fruits par plante ($r = 0,647$), la longueur et le diamètre du fruit ($r = 0,432$), le diamètre du fruit et le nombre de graines par fruits ($r = 0,472$), et la longueur du fruit et le nombre de graines par fruit ($r = 0,406$). Aussi, il existe une corrélation positive et significative ($P = 5\%$) entre la hauteur de la plante et la circonférence de la tige ($r = 0,349$), et entre la hauteur de la plante et la largeur de la canopée ($r = 0,383$). Ainsi donc, l'analyse des coefficients de corrélation montre qu'il existe une corrélation forte et positive entre certains caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final.

Tableau X. Caractéristiques agronomiques des 41 accessions de la collection de piments. Dans la colonne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité P = 5 %.

HP: Hauteur de la plante; CT: Circonférence de la tige; LC: Largeur de la canopée; LFr: Longueur du fruit; DFr: Diamètre du fruit; NGF: Nombre de graines par fruit; LoF: Longueur de la feuille; LaF: Largeur de la feuille.

*: Deviation standard.

Accession	Paramètres observés							
	HP (cm)	CT (mm)	LC (cm)	LFr (cm)	DFr (cm)	NGF(g)	LoF(cm)	LaF(cm)
CPC02	85 _{abcd}	12,0 _{ab}	117 _{abcdefg}	3,0 _{cdef}	2,6 _{fghijkl}	50 _{abc}	7,0 _b	2,6 _c
CPC03	100 _{abc}	12,0 _{ab}	122 _{abcdefg}	4,8 _{abcdef}	2,9 _{cdefghi}	31 _{bcd}	6,7 _{bc}	3,1 _{bc}
CPC04	120 _a	11,5 _{ab}	124 _{abcdefg}	2,8 _{def}	2,4 _{ghijkl}	34 _{bcd}	5,0 _{bc}	2,3 _c
CPC06	105 _{ab}	7,0 _b	93 _{defg}	4,0 _{abcdef}	1,9 _{ijklmn}	32 _{bcd}	6,9 _{bc}	4,8 _{ab}
CPC08	100 _{abc}	9,5 _{ab}	109 _{abcdefg}	6,4 _{abcde}	3,2 _{bcdefghi}	52 _{ab}	7,3 _b	3,5 _{bc}
CPC09	95 _{abcd}	9,5 _{ab}	112 _{abcdefg}	8,3 _a	2,8 _{defghij}	49 _{abc}	4,7 _c	2,1 _c
CPC10	100 _{abc}	12,0 _{ab}	146 _{ab}	8,1 _a	2,9 _{cdefghi}	39 _{abcd}	11,3 _a	5,2 _a
CPC11	110 _{ab}	12,0 _{ab}	130 _{abcdef}	1,4 _f	0,8 _{mn}	5 _d	5,3 _{bc}	2,2 _c
CPC12	95 _{abcd}	15,0 _{ab}	142 _{abc}	1,3 _f	0,5 _n	7 _{cd}	4,9 _c	2,8 _c
CPC13	40 _e	8,5 _{ab}	85 _{fg}	5,8 _{abcdef}	1,4 _{ijklmn}	28 _{bcd}	5,4 _{bc}	2,0 _c
CPC14	90 _{abcd}	10,0 _{ab}	120 _{abcdefg}	3,4 _{bcdef}	1,2 _{lmn}	18 _{bcd}	5,8 _{bc}	1,8 _{cd}
CPC15	80 _{bcd}	11,0 _{ab}	145 _{ab}	212 _{ef}	0,5 _n	24 _{bcd}	5,1 _{bc}	3,0 _{bc}
CPC17	100 _{abc}	12,0 _{ab}	133 _{abcde}	6,8 _{abcd}	3,5 _{abcdefg}	38 _{abcd}	7,8 _b	3,7 _{bc}
CPC18	105 _{ab}	10,0 _{ab}	122 _{abcdefg}	7,5 _{abc}	3,3 _{bcdefghi}	31 _{bcd}	10,2 _{ab}	5,3 _a
CPC19	105 _{ab}	18,0 _a	122 _{abcdefg}	5,2 _{abcdef}	4,7 _a	45 _{abcd}	7,0 _b	3,6 _{bc}
CPC22	90 _{abcd}	12,0 _{ab}	126 _{abcdefg}	6,4 _{abcde}	3,7 _{abcdefg}	50 _{abc}	5,0 _{bc}	3,1 _{bc}
CPC23	75 _{bcd}	10,0 _{ab}	125 _{abcdefg}	4,2 _{bcdef}	4,5 _{ab}	43 _{abcd}	6,3 _{bc}	3,2 _{bc}
CPC24	80 _{bcd}	8,5 _{ab}	100 _{bcdefg}	5,6 _{abcdef}	4,2 _{abcd}	38 _{abcd}	5,6 _{bc}	3,2 _{bc}
CPC25	85 _{abcd}	8,5 _{ab}	86 _{efg}	3,9 _{abcdef}	3,6 _{abcdefg}	25 _{bcd}	4,7 _c	2,9 _{bc}
CPC26	105 _{ab}	11,0 _{ab}	113 _{abcdefg}	4,6 _{bcdef}	4,2 _{abcd}	35 _{bcd}	6,1 _{bc}	3,7 _{bc}
CPC27	65 _{cde}	9,0 _{ab}	96 _{cdefg}	5,3 _{abcdef}	3,1 _{bcdefghi}	32 _{bcd}	4,6 _c	2,3 _c
CPC28	106 _{ab}	11,0 _{ab}	126 _{abcdefg}	5,8 _{abcdef}	3,4 _{bcdefgh}	33 _{bcd}	7,5 _b	4,9 _{ab}
CPC29	103 _{abc}	13,0 _{ab}	116 _{abcdefg}	5,4 _{abcdef}	2,6 _{fghijkl}	28 _{bcd}	7,8 _b	3,2 _{bc}
CPC30	80 _{bcd}	9,0 _{ab}	91 _{defg}	3,4 _{bcdef}	4,1 _{abcde}	17 _{bcd}	8,1 _b	3,8 _{bc}
CPC31	105 _{ab}	9,0 _{ab}	91 _{defg}	5,6 _{abcdef}	3,3 _{ghijkl}	30 _{bcd}	7,1 _b	3,4 _{bc}
CPC32	105 _{ab}	10,7 _{ab}	122 _{abcdefg}	7,5 _{abc}	3,3 _{bcdefghi}	31 _{bcd}	7,2 _b	3,8 _{bc}
CPC33	90 _{abcd}	12,0 _{ab}	134 _{abcd}	4,8 _{abcdef}	3,7 _{abcdefg}	17 _{bcd}	6,5 _{bc}	3,0 _{bc}
CPC34	95 _{abcd}	11,0 _{ab}	150 _a	7,7 _a	2,7 _{efghijk}	27 _{bcd}	9,0 _{ab}	3,6 _{bc}
CPC35	100 _{abc}	10,0 _{ab}	108 _{abcdefg}	5,1 _{abcdef}	3,2 _{bcdefghi}	32 _{bcd}	9,0 _{ab}	4,0 _{ab}
CPC36	83 _{abcd}	9,5 _{ab}	96 _{cdefg}	6,1 _{abcde}	3,4 _{bcdefgh}	42 _{abcd}	6,5 _{bc}	3,8 _{bc}
CPC37	90 _{abcd}	12,5 _{ab}	130 _{abcdef}	4,0 _{abcdef}	2,7 _{efghijk}	27 _{bcd}	7,6 _b	4,4 _{ab}
CPC38	100 _{abc}	10,0 _{ab}	121 _{abcdefg}	7,6 _{ab}	2,7 _{efghijk}	37 _{abcd}	6,8 _{bc}	3,9 _{bc}
CPC39	105 _{ab}	9,0 _{ab}	112 _{abcdefg}	6,2 _{abcde}	2,6 _{fghijkl}	50 _{abc}	6,9 _{bc}	4,0 _{ab}
CPC40	95 _{abcd}	9,0 _{ab}	110 _{abcdefg}	4,3 _{abcdef}	2,0 _{hijklm}	24 _{bcd}	7,0 _b	3,0 _{bc}
CPC41	95 _{abcd}	9,5 _{ab}	110 _{abcdefg}	4,4 _{abcdef}	3,6 _{abcdefg}	79 _a	6,5 _{bc}	3,5 _{bc}
CPC42	100 _{abc}	14,0 _{ab}	106 _{abcdefg}	2,7 _{def}	1,3 _{klmn}	80 _a	4,2 _c	2,2 _c
CPC43	90 _{abcd}	9,5 _{ab}	107 _{abcdefg}	7,8 _{ab}	3,2 _{bcdefghi}	29 _{bcd}	6,4 _{bc}	3,6 _{bc}
CPC44	60 _{dc}	8,0 _b	82 _g	4,9 _{abcdef}	2,9 _{cdefghi}	27 _{bcd}	4,9 _c	3,2 _{bc}
CPC45	110 _{ab}	10,0 _{ab}	116 _{abcdefg}	4,3 _{abcdef}	4,0 _{abcdef}	41 _{abcd}	7,0 _b	3,9 _{bc}
CPC46	95 _{abcd}	9,0 _{ab}	132 _{abcdef}	4,5 _{abcdef}	4,3 _{abc}	23 _{bcd}	6,7 _{bc}	4,1 _{ab}
CPC47	95 _{abcd}	8,5 _{ab}	107 _{abcdefg}	5,1 _{abcdef}	3,9 _{abcdef}	47 _{abcd}	8,0 _b	3,2 _{bc}
Moyenne	92,88	10,51	115,56	4,96	2,95	33,15	6,67	3,31
Dév. std.*	14,75	2,09	17,13	1,73	1,07	14,28	2,13	1,04

Tableau XI. Coefficients de corrélation entre le rendement en fruits et quelques caractères des composantes du rendement et du développement végétatif.

*: Corrélation significative au seuil de probabilité $P = 5 \%$.

** : Corrélation hautement significative au seuil de probabilité $P = 1 \%$.

HP: Hauteur de la plante; LoF: Longueur de la feuille; LaF: Largeur de la feuille; CT: Circonférence de la tige; LC: Largeur de la canopée; LFr: Longueur du fruit; DFr: Diamètre du fruit; NFP: Nombre de fruits par plante; PFP: Poids de fruits par plante; NGF: Nombre de graines par fruit.

Caractères (quantitatifs) observés	Caractères (quantitatifs) observés									
	HP	LoF	LaF	CT	LC	LFr	DFr	NFP	PFP	NGF
HP	1,000	0,307	0,335**	0,349*	0,383*	0,026	0,022	0,003	0,015	0,032
LoF		1,000	0,766**	-0,005	0,198	0,589**	0,255	-0,051	0,124	0,253
LaF			1,000	-0,041	0,153	0,612**	0,416**	-0,245	-0,139	0,278
CT				1,000	0,555**	-0,151	-0,086	0,082	0,021	-0,207
LC					1,000	0,048	-0,108	0,065	0,019	-0,099
LFr						1,000	0,432**	-0,261	0,019	0,406**
DFr							1,000	-0,267	0,091	0,472**
NFP								1,000	0,647**	-0,197
PFP									1,000	-0,175
NGF										1,000

III.1.4 Analyse factorielle des composantes multiples (AFCM)

Des 11 caractères qualitatifs observés au cours de cette expérience, 5 d'entre eux sont considérés comme les plus représentatifs, permettant de mieux décrire les différentes accessions de la collection de piments. Ces caractères qualitatifs les plus représentatifs ont une variance discriminatoire d'au moins 40 % sur la première composante factorielle (Tableau XII).

Tableau XII. Tableau de contingence des différents caractères qualitatifs utilisés pour le regroupement des 41 accessions de piments en classes suivants leurs affinités morphologiques de l'AFCM.

NB: Les caractères qualitatifs en gras sont les plus représentatifs.

Caractères qualitatifs	Dimension		Moyenne
	1	2	
Type de Croissance végétative	0,796	0,001	0,398
Forme des feuilles	0,294	0,072	0,183
Position de l'inflorescence à l'anthèse	0,704	0,018	0,361
Couleur de la corolle	0,068	0,101	0,084
Forme des fruits	0,597	0,679	0,638
Pigmentation des fruits avant la maturité	0,454	0,639	0,546
Pigmentation des fruits après la maturité	0,124	0,021	0,072
Aspect de la surface du fruit	0,689	0,272	0,480
Couleur des graines	0,356	0,165	0,261
Port végétatif des plants.	0,223	0,110	0,167
Couleur de la feuille	0,012	0,183	0,098
Total	4,316	2,262	3,289
Variance (%)	39,239	20,561	29,900

Cette première composante contribue pour 39,25 % de la variation, alors que la seconde composante contribue pour 20,56 % de la variation seulement. Les positions relatives des différents caractères qualitatifs permettant de décrire les différents groupes accessions sont représentées sur la figure 9. Les caractères qualitatifs les plus représentatifs (TCV, PIA, FFr, PFAM, SFr) permettent de distinguer quatre classes (clusters) morphologiques différentes suivant leurs affinités morphologiques. Ces caractères qualitatifs les plus représentatifs sont suffisamment excentrés du point d'intersection des deux composantes factorielles, ce qui laisse suggérer qu'elles ont des variances discriminatoires suffisamment élevées pour contribuer de façon significative au regroupement des différentes accessions de la collection en 4 classes (clusters) morphologiquement différentes. Les caractères qualitatifs les moins représentatifs (FF, CC, PFM, CG, PV, CF) ont une variance discriminatoire

inférieure à 40 %, supposée insuffisante pour contribuer de façon significative au regroupement des différentes accessions en classes morphologiquement différentes.

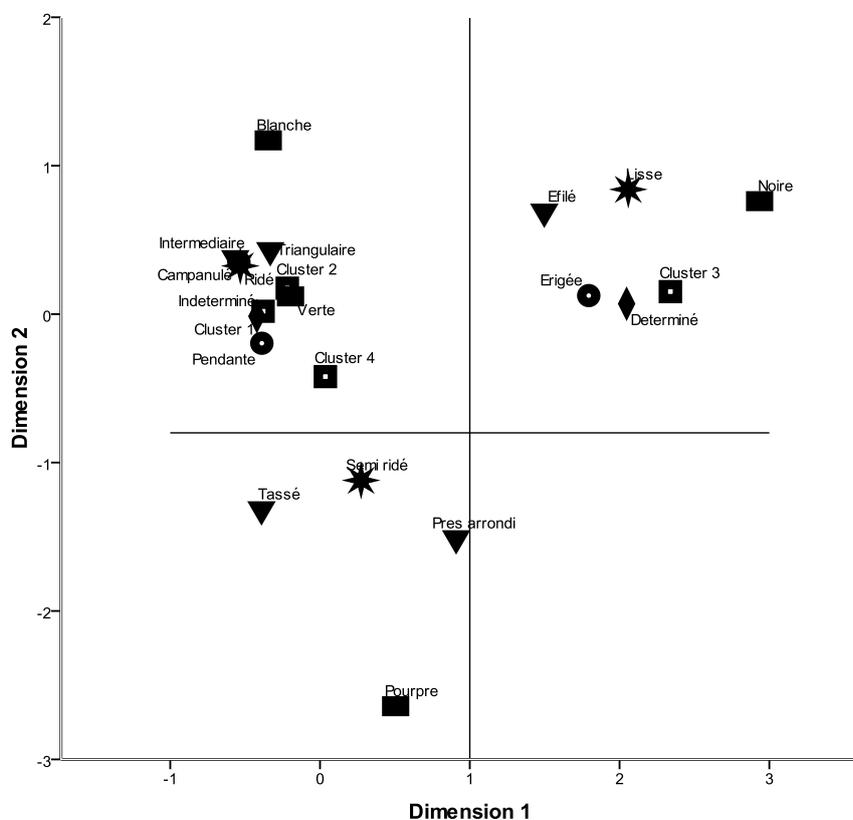
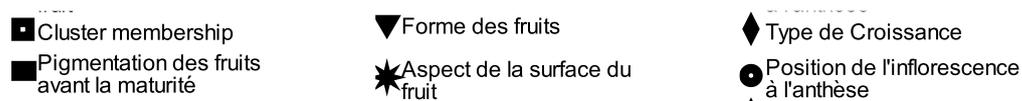


Fig. 9. Représentation graphique des 41 accessions de la collection de piments regroupés en 4 clusters en fonction de leurs caractères qualitatifs les plus discriminatoires, dans les deux premiers axes de l'AFCM.



III.1.5 Classification ascendante hiérarchique des 41 accessions de piments

La répartition des 41 accessions de la collection de piments permet d'obtenir 4 classes morphologiquement différentes (Tableau XIII), confirmant ainsi les informations données par l'AFCM. La spécification des combinaisons linéaires entre les différentes accessions au sein de chaque classe morphologique est représentée sur le dendrogramme (Figure 10).

Tableau XIII. Répartition des 41 accessions de piments en 4 classes suivant leurs affinités morphologiques

Classe	Accessions	Nombre
1	CPC41; CPC47; CPC43; CPC36; CPC08; CPC39; CPC06; CPC23; CPC30; CPC24; CPC02; CPC40; CPC31; CPC09; CPC03; CPC33; CPC29; CPC04; CPC35; CPC38; CPC45; CPC32; CPC26; CPC46; CPC22; CPC17; CPC28; CPC37; CPC34; CPC19	30
2	CPC10; CPC18	2
3	CPC25; CPC27; CPC44; CPC13	4
4	CPC11; CPC12; CPC15; CPC42; CPC14	5
Total		41

La classe I contient 30 accessions (CPC41 à CPC19), et est principalement caractérisée par des plants de piment qui ont une grande hauteur, une longueur et une largeur moyennes de la feuille, une circonférence de la tige moyenne, une grande largeur de la canopée, des fruits de longueur moyenne mais de grand diamètre, et un nombre élevé de graines par fruit. En plus, les accessions appartenant à cette classe ont une croissance végétative de type indéterminé, et la position de l'inflorescence à l'anthèse est pendante; les fruits sont de forme campanulée et leur surface est d'aspect ridé.

La classe II contient seulement deux accessions (CPC10 et CPC18). Cette classe est principalement caractérisée par des plants de grande hauteur, une grande longueur et largeur de la feuille, une circonférence de la tige moyenne, une grande largeur de la canopée, des fruits de dimensions (longueur et diamètre) élevées, et un nombre élevé de graines par fruit. En plus, les accessions appartenant à cette classe ont une position de l'inflorescence à l'anthèse intermédiaire, des fruits de forme triangulaire et de couleur blanche avant la maturité.

La classe III contient 4 accessions (CPC25, CPC27, CPC44 et CPC13). Elle est principalement caractérisée par des plants de grande hauteur, des feuilles de très petites dimensions, une circonférence de la tige et une largeur de la canopée élevées, des fruits de très petites dimensions et un nombre de graines par fruit très faible. Les accessions

appartenant à cette classe ont une croissance végétative de type déterminée, et un port végétatif érigé; les fruits ont une surface lisse et une forme effilée. Les semences issues de ces fruits sont de couleur noire.

La classe IV contient 5 accessions (CPC11, CPC12, CPC15, CPC42 et CPC14). Cette classe est principalement caractérisée par des plants de faible hauteur, des feuilles de petites dimensions, une circonférence de la tige et une largeur de la canopée faibles, des fruits de longueur moyenne, un diamètre du fruit et un nombre de graines par fruit élevés. Ces fruits sont de forme tassée ou presque arrondie, une surface d'aspect semi-ridée, et de couleur pourpre avant la maturité.

III.1.6 Evolution du nombre et du poids de fruits récoltés au cours du temps

En considérant les accessions CPC14, variété à petits fruits, et CPC29, variété à gros fruits, les résultats obtenus révèlent que les poids de fruits récoltés au cours du cycle de production sont sensiblement les mêmes (3,8 t/ha et 3,12 t/ha respectivement). Une différence très significative réside cependant au niveau du nombre de fruits récoltés: au cours du temps, CPC14 a produit 3 fois plus de fruits que CPC29 (Fig. 11). Les différences morphologiques (longueur et diamètre) au niveau des fruits seraient alors largement compensées par le nombre de fruits produits. Autrement dit, les accessions à petits fruits produiraient d'avantage de fruits pour avoir, en fin de cycle, le même poids de fruits récoltés que les accessions à gros fruits, très peu prolifiques.

Par ailleurs, les périodes de fortes productivités en fruits récoltés se situent au début du cycle de production; au-delà de cette période, on assiste à une réduction progressive du nombre, et par conséquent du poids de fruits à chaque récolte et ce jusqu'à la fin du cycle de production.

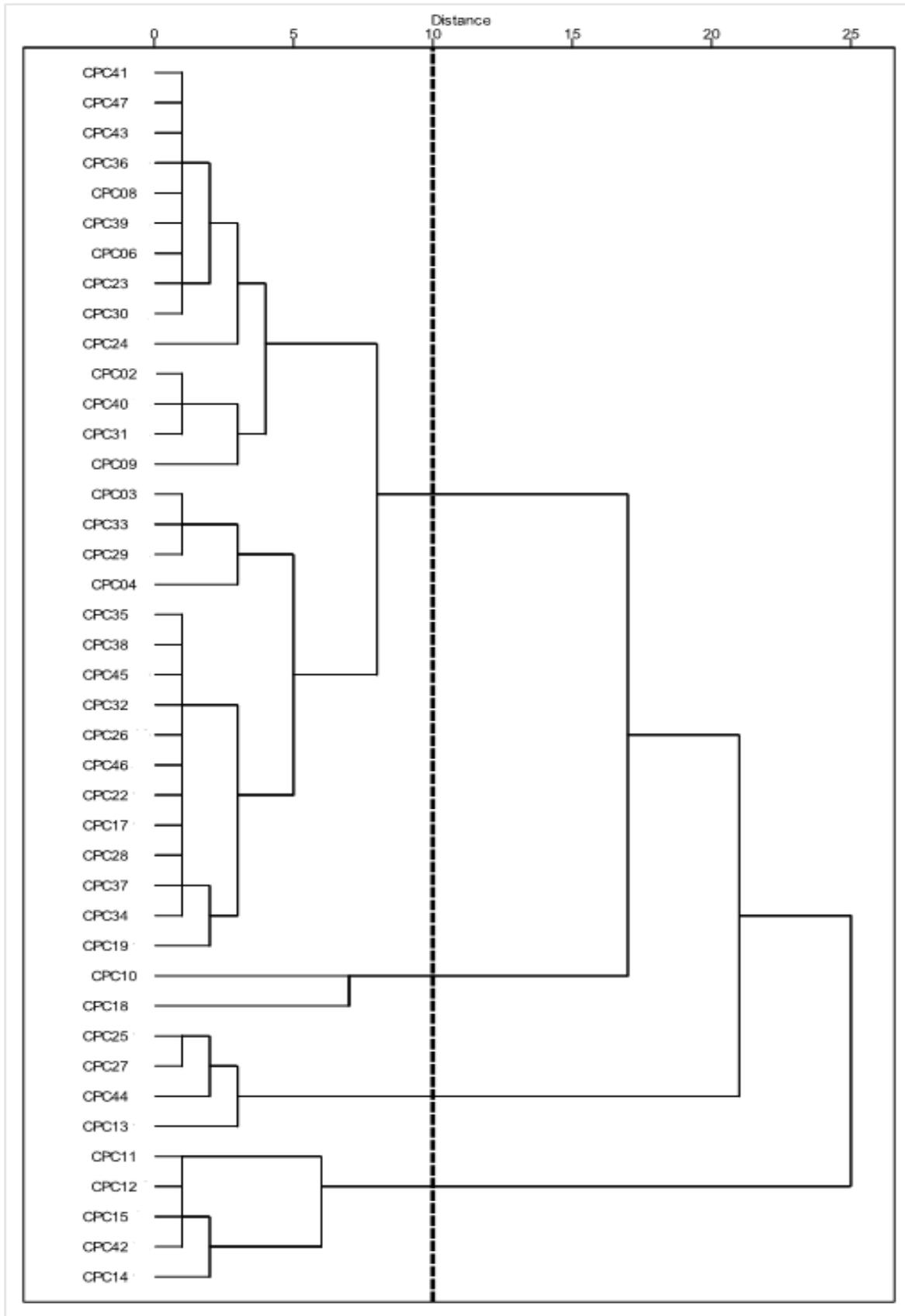


Fig. 10. Dendrogramme des classes ascendantes hiérarchiques des 41 accessions de la collection de piments suivant leurs affinités morphologiques.

III.1.7 Sensibilité des accessions aux maladies et ravageurs

III.1.7.1 Virose

Au sein de la collection, toutes les accessions manifestent une sévérité d'infection à des degrés très différents. En effet, 17 % des accessions sont résistants (classe 1), 43,9 % tolérants (classe 2), 29,27 % sensibles (classe 3) et seulement 9,75 % très sensibles (classe 4) vis-à-vis de la mosaïque (Tableau XIV). Etant donné que les maladies virales sont transmises par les mouches blanches ou aleurodes, un contrôle au moyen d'insecticides naturels et/ou synthétiques bien choisis (paraphène® EC -500 g/l de parathion ethyl- ou sevin® SC -480 g/l de carbaryl) réduirait l'ampleur des dégâts, et entraîneraient une augmentation concomitante du rendement en fruits de bonne qualité.

III.1.7.2 Fusariose

Les accessions de la collection de piments sont particulièrement sensibles aux infections des champignons (*Fusarium oxysporum pv capsici*), avec près de la moitié de celles-ci, soit 48,78 % appartenant à la classe 3. Par ailleurs, 12,20 % des accessions seulement expriment une résistance totale (classe 1) vis-à-vis de cette maladie, 31,70 % en sont tolérants (classe 2). Les accessions appartenant à ces deux premières classes peuvent fournir des gènes de résistance lors de la mise sur pied d'un programme d'amélioration génétique de piments, ce fléau étant présent et redoutable dans toutes les zones de production de piment au Cameroun.

III.1.7.3 Dégâts dus aux mouches de fruits

Au sein de la collection, 34,15 % d'accessions sont très sensibles vis-à-vis des dégâts causés par ces insectes ravageurs. Par ailleurs, 9,75 % et 36,58 % se révèlent résistantes et tolérantes respectivement (Tableau XIV). Etant donné que ces dégâts réduisent de façon très significative les rendements en fruits sains récoltés, et qu'ils sont le résultat de la piqûre de mouches de fruits (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp.) qui pondent leurs œufs dans les fruits sains et donc le développement des larves issues de ces œufs provoquent la chute de ces fruits avant le stade de maturation, les accessions de la classe 1 posséderaient des dispositifs de résistance (épaisseur du péricarpe) vis-à-vis de ces ravageurs; par conséquent, elles pourraient être utilisées comme parents dans un programme d'amélioration génétique visant à mettre au point des cultivars de piment résistants aux mouches de fruits.

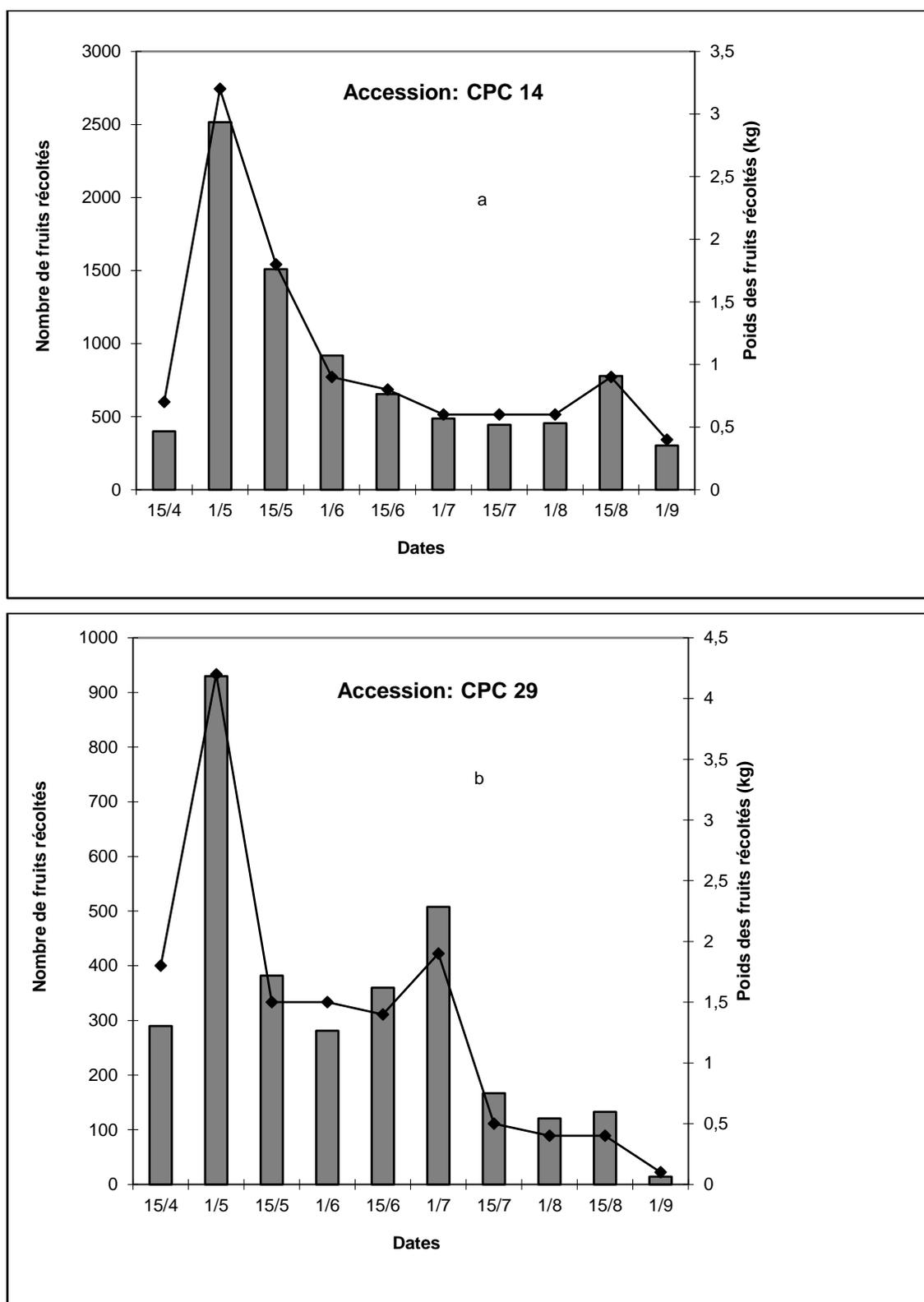


Fig. 11. Evolution du nombre et du poids moyens (kg) des fruits récoltés par parcelle (20 plants) de deux accessions au cours du cycle reproductif (a: CPC14 et b: CPC29).

■ Nombre de fruits récoltés —◆— Poids des fruits récoltés

III.1. 8 Pigmentation des fruits de la collection

Avant la maturation (Fig. 12a), on observe dans la collection 4 pigmentations différentes des fruits: 82 % des accessions ont des fruits de pigmentation verte; par ailleurs, on observe en proportions beaucoup plus faibles des accessions dont les fruits ont une pigmentation pourpre (7,33 %), noire (4,88 %) et blanche (4,88 %). Ces différentes pigmentations de fruits avant la maturité sont aussi des caractères morphologiques qui contribuent à la diversité des accessions de la collection.

Après la maturation, les différentes pigmentations de fruits observées virent soit au rouge (73,17 %), soit au jaune (26,83 %) (Fig. 12b). Ces changements dans la pigmentation des fruits, imprévisibles d'un stade physiologique (immature) du fruit à un autre (mature), contribuent à la diversité morphologique qui existe au sein du genre *Capsicum*.

Tableau XIV. Sensibilité des 41 accessions de la collection de piments aux maladies (virose, fusariose) et ravageurs (mouches de fruits).

*: 1 = résistante; 2 = tolérante; 3 = sensible; 4 = très sensible.

** : 0 = pas de chute de fruits (immunité totale); 1 = très peu de fruits chutés;

2 = peu de fruits chutés; 3 = assez de fruits chutés; 4 = beaucoup de fruits chutés avant la maturité

Accessions de piments	Maladies et ravageurs		
	Virose*	Fusariose*	Mouches de fruits**
CPC 02	4	2	3
CPC 03	3	3	2
CPC 04	3	3	3
CPC 06	4	4	4
CPC 08	2	3	2
CPC 09	4	3	2
CPC 10	2	3	3
CPC 11	1	1	3
CPC 12	1	1	1
CPC 13	1	4	1
CPC 14	1	4	1
CPC 15	1	1	1
CPC 17	3	3	4
CPC 18	2	2	4
CPC 19	2	2	3
CPC 22	4	3	2
CPC 23	2	3	2
CPC 24	3	2	2
CPC 25	3	3	2
CPC 26	2	3	4
CPC 27	2	3	4
CPC 28	2	3	4
CPC 29	1	2	4
CPC 30	2	3	3
CPC 31	3	2	4
CPC 32	2	1	3
CPC 33	3	2	4
CPC 34	3	3	4
CPC 35	3	2	3
CPC 36	2	2	2
CPC 37	1	2	2
CPC 38	2	2	2
CPC 39	2	3	2
CPC 40	3	3	4
CPC 41	2	3	2
CPC 42	3	2	2
CPC 43	2	1	2
CPC 44	2	2	2
CPC 45	2	3	4
CPC 46	2	3	4
CPC 47	3	3	4

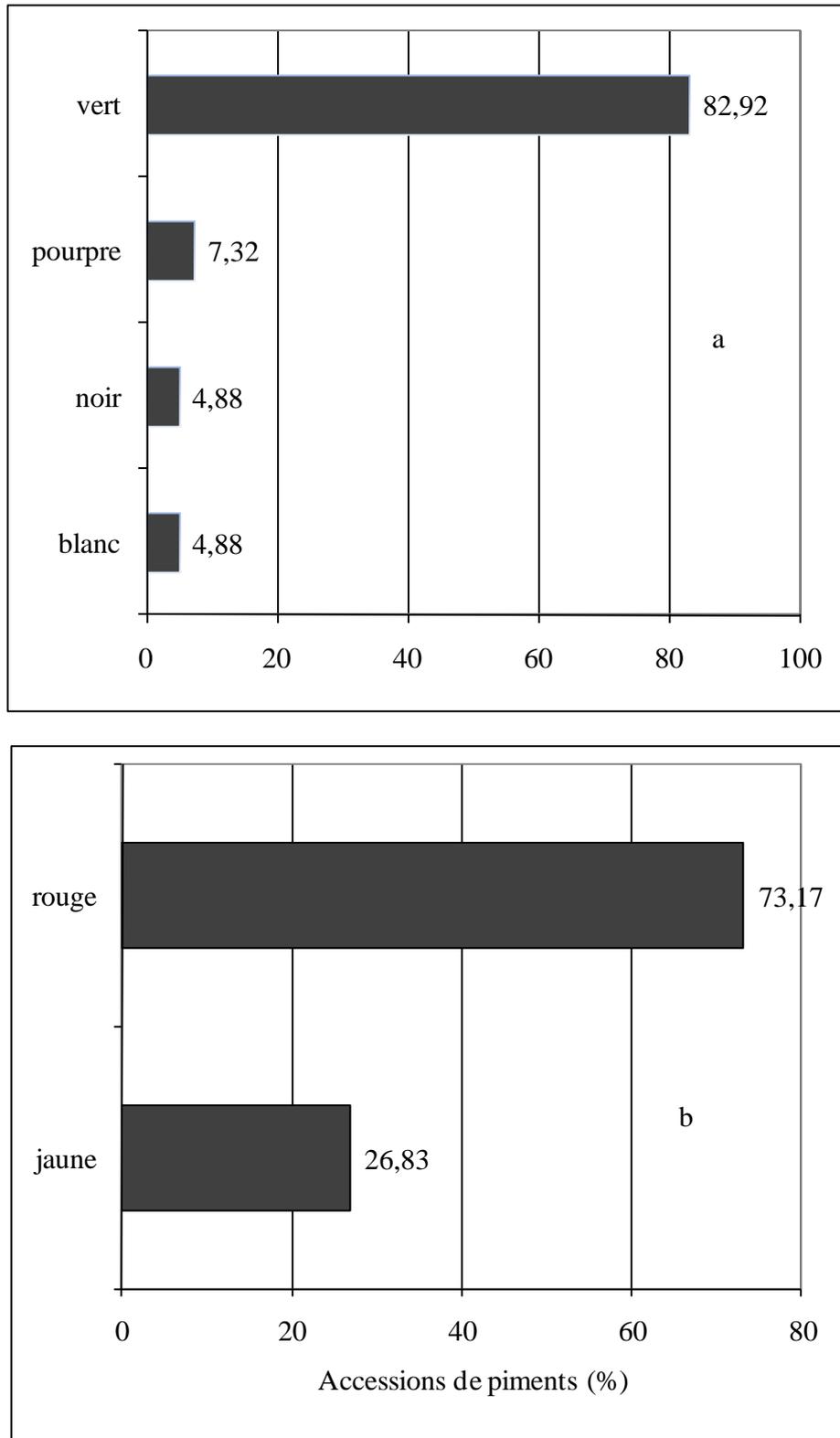


Fig. 12. Pigmentation des fruits de la collection avant la maturation (a) et après la maturation (b).

III.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS

III.2.1 Sensibilité aux maladies virales

Les observations faites au cours des cycles de développement végétatif et reproductif montrent que les quatre variétés de piment utilisées comme matériel végétal au cours de cette expérience ont des effets hautement significatifs ($P < 0,001$) sur la sévérité des maladies virales sur les plants de piment (Tableau XV).

Tableau XV. Eléments d'analyse de la variance (carrés moyens et valeur P) relative à l'incidence des maladies virales des variétés de piment au cours de l'expérience.

Source de variation	Eléments d'analyse de la variance			
	Degré de liberté (ddl)	Somme de carrés (s.c)	Carré moyens (c.m)	Valeur P
Répétitions	2	53,52	26,76	
Variétés	3	345,26	115,08	< 0,001
Erreur	6	26,68	4,44	
Traitements chimiques	3	30,96	10,32	< 0,001
Variétés x Traitements	9	7,25	0,8	0,797
Erreur	24	33,12	1,38	
Temps de récolte	12	36,47	3,03	< 0,001
Variétés x Temps de récolte	36	24,06	0,66	< 0,001
Variétés x Traitements chimiques x Temps de récolte	108	30,24	0,28	0,307
Erreur	384	100	0,26	
Variation totale	623	708,97		

En effet, les sous-parcelles qui ont reçu le traitement combiné insecticide + fongicide (traitement C) ont le degré de sévérité vis-à-vis des maladies virales le plus faible, variant entre 1,2 et 1,8. Les sous-parcelles non traitées pour toutes les variétés de piment ont les degrés de sévérité les plus élevés, variant entre 1,2 après la transplantation à 3,4 vers la fin de la phase reproductrice des plants de piment (Figure 13). Les traitements chimiques à l'insecticide (traitement A) et au fongicide (traitement B) occupent des positions intermédiaires. En général, la variété Thaïlande a le degré de sévérité aux maladies virales le plus faible, quel que soit le traitement chimique appliqué.

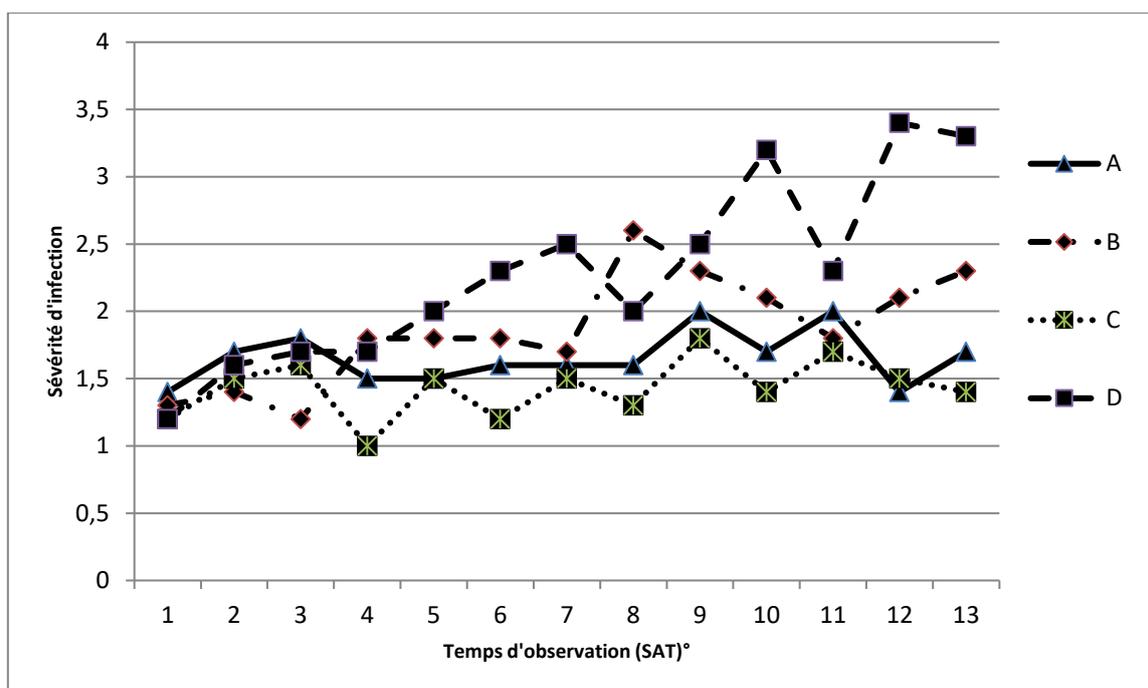


Fig. 13. Incidence des maladies virales sur les plants de piment au cours du temps.

* SAT: Semaines après transplantation.

A: Traitement insecticide (cypercal® 50 EC); B: Traitement fongicide (trimangol® 80 WP);

C: Traitement combiné insecticide + fongicide (cypercal® 50 EC + trimangol® 80 WP);

D: Témoin (aucun traitement chimique).

III.2.2 Sensibilité à la fusariose

Tout au long des cycles végétatif et reproductif des plants, les différentes variétés de piment se comportent différemment vis-à-vis des bio-agresseurs telluriques responsables du flétrissement suivi de la mort des plants. En effet, les traitements B (trimangol®) et C (cypercal® + trimangol®) donnent les meilleurs résultats ($P = 0,075$), pour toutes les variétés (Tableau XVI).

Tableau XVI. Eléments d'analyse de la variance, (carrés moyens et valeur P) relative à l'incidence de la fusariose sur les populations de piments au cours de l'expérience.

Source de variation	Eléments d'analyse de la variance			
	Degré de Liberté (ddl)	Somme des carrés (s.c)	Carré moyens (c m)	Valeur P
Répétitions	2	11,19	5,59	
Variétés	3	8,01	2,87	0,23
Erreur	6	8,41	1,4	
Traitements chimiques	3	6,41	2,13	0,075
Variétés x Traitements chimiques	9	2,01	0,22	0,976
Erreur	24	19,67	0,82	
Temps de récolte	12	62,81	5,23	< 0,001
Variétés x Temps de récolte	36	11,75	0,32	0,972
Traitements chimiques x Temps de récolte	36	22,36	0,62	0,291
Variétés x Traitements chimiques x Temps de récolte	108	17,63	0,16	1
Erreur	384	212,05	0,55	
Variation totale	623	382,34		

Par ailleurs, la sévérité d'infection est très faible dans les sous-parcelles qui ont reçu le traitement combiné (traitement C), variant de 1,0 après la transplantation à 1,8, 7 semaines plus tard. La sévérité d'infection est très élevée dans les sous-parcelles qui ont reçu le traitement insecticide seul (traitement A) et le témoin, où des sévérités d'infection élevées de 2,6 et 2,8 ont été observées (Figure 14). En général, les taux de mortalité dus au flétrissement suivi de la mort des plants de piment, qui est un fléau très répandu dans toutes les zones de production de piment au Cameroun, sont relativement faibles au cours de cette expérience, probablement parce qu'elle a été conduite sur une parcelle de terrain apparemment vierge, n'ayant pas reçu de culture de solanacées depuis au moins cinq ans. A cet égard, les rotations solanacées sur solanacées, très courantes dans les zones de production de piment où la terre est un facteur de production à la fois cher et rare, seraient à l'origine des taux d'infection particulièrement élevés pour la culture du piment.

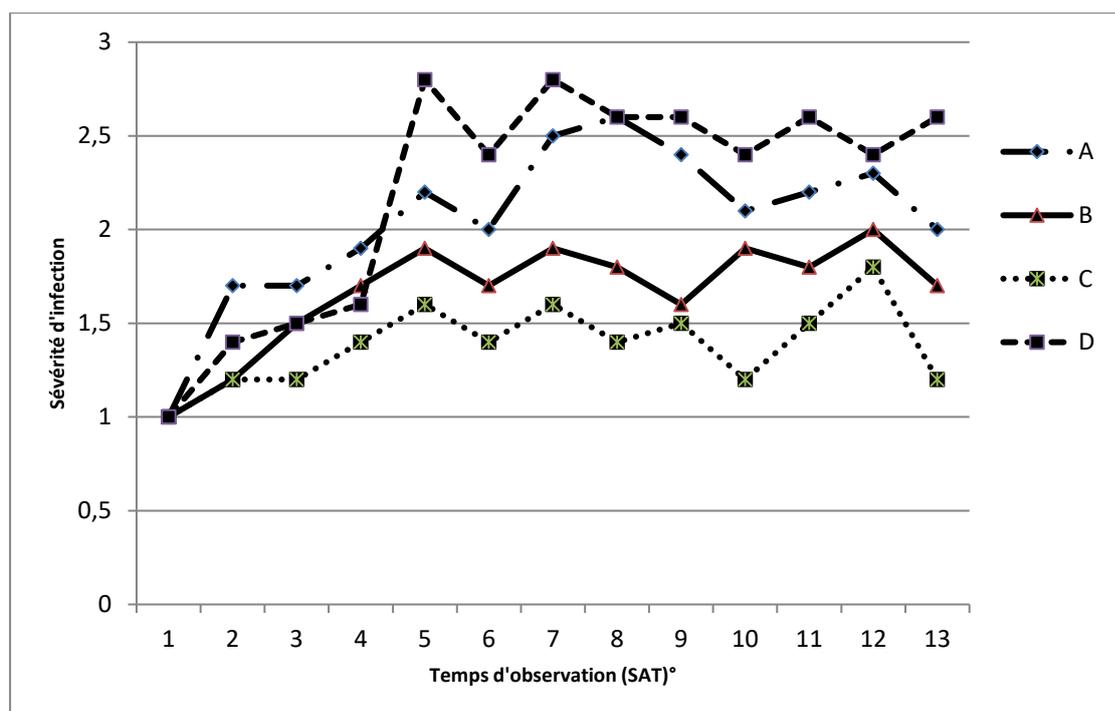


Fig. 14. Incidence de la fusariose sur les plants de piment au cours du temps.

*SAT: Semaines après la transplantation.

A: Traitement insecticide (cypercal® 50 EC); B: Traitement fongicide (trimangol® 80 WP);

C: Traitement combiné insecticide + fongicide (cypercal® 50 EC + trimangol® 80 WP);

D: Témoin (aucun traitement chimique).

III.2.3 Traitements chimiques et attaques de mouches de fruits

Au cours de cette expérience, les attaques de mouches de fruits (*Ceratitis spp.*, *Bactrocera spp.*) qui se traduisent par le nombre de fruits chutés avant la maturation, varient d'un traitement chimique à l'autre tout au long du cycle reproductif des plants. En effet, les traitements chimiques appliqués au cours de cette expérience ont des effets hautement significatifs ($P < 0,001$) sur la réduction des populations de ravageurs (Tableau XVII).

Tableau XVII. Eléments d'analyse de la variance (carrés moyens, valeur P) relative au nombre de fruits chutés avant la maturité au cours de l'expérience.

Source de variation	Eléments d'analyse de la variance			Valeur P
	Degré de liberté (ddl)	Somme des carrés (s.c)	Carré moyens (c.m)	
Répétitions	2	520,83	260,42	
Variétés	3	1 345,96	448,65	0,024
Erreur	6	398,59	66,43	
Traitements chimiques	3	205,31	68,43	< 0,001
Variétés x Traitements	9	520,79	57,87	0,212
Erreur	24	939,29	39,14	
Temps de récolte	12	1 979,77	164,98	< 0,001
Variétés x Temps de récolte	36	1 543,42	42,87	< 0,001
Traitements chimiques x Temps de récolte	36	270,91	7,53	0,984
Variétés x Traitements chimiques x Temps de récolte	108	1 270,01	11,76	0,814
Erreur	384	5 215,28	13,58	
Variation totale	623	14 210,15		

Durant ce cycle reproductif des plants de piment, la sévérité d'infection due aux dégâts des mouches de fruits est significativement faible dans les sous-parcelles ayant reçu le traitement combiné insecticide + fongicide (traitement C); pour ce traitement, le degré de sévérité varie de 1,0 au début de la période de récolte et culmine à 1,8 vers la fin de la phase reproductrice des plants de piment. Ce traitement combiné est immédiatement suivi par le traitement insecticide (traitement A) sur la base de l'effectivité des traitements chimiques pour le control de ces ravageurs. Le degré de sévérité est relativement élevé dans les sous-parcelles ayant été traitée au fongicide (traitement B), et finalement le témoin (traitement D), par ordre décroissant (Figure 15).

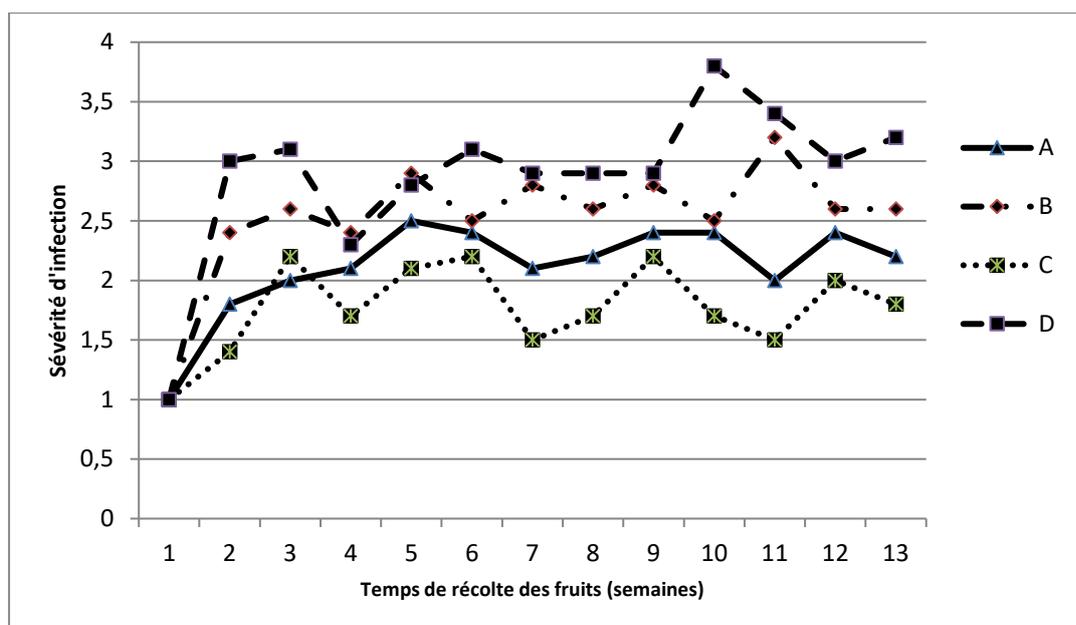


Figure 15. Incidence des mouches de fruits sur les plants de piment au cours du temps.

A: Traitement insecticide (cypercal® 50 EC); B: Traitement fongicide (trimangol® 80 WP);

C: Traitement combiné insecticide + fongicide (cypercal® 50 EC + trimangol® 80 WP);

D: Témoin (aucun traitement chimique).

III.2.4 Traitements chimiques, composantes du rendement et rendement final

Les traitements chimiques appliqués au cours de cette expérience ont des effets significatifs sur l'augmentation du nombre de fruits sains récoltés par sous-parcelle traitée pour toutes les variétés (Tableau XVIII). Un nombre élevé de fruits commercialisables est enregistré pour les traitements au Trimangol® (traitement B) et plus particulièrement le traitement combiné Cypercal® + Trimangol® (traitement C); le témoin (traitement D) n'a donné qu'un faible nombre de fruits sains récoltés.

Par ailleurs, les différents traitements chimiques appliqués au cours de cette expérience ont des effets significatifs sur l'augmentation du poids moyen (g/plant) de fruits sains récoltés par sous-parcelle traitée pour toutes les variétés de piment ((Tableau XVIII). Les rendements les plus élevés en fruits commercialisables sont obtenus dans les sous-parcelles expérimentales traitées à l'insecticide + fongicide (traitement C : 13,524 kg/ha), insecticide (traitement A : 9,342 kg/ha), fongicide (traitement B : 7,506 kg/ha), et finalement, le témoin n'ayant reçu aucun traitement chimique (traitement D : 3,308 kg/ha), par ordre décroissant. En général, les sous-parcelles ayant reçu ces traitements chimiques ont surpassé le témoin de 308,82%, 182,40%, et 126,90% respectivement.

Tableau XVIII. Effet des traitements chimiques sur les composantes du rendement et le rendement final.

Dans la colonne, les chiffres suivis par les même lettres ne sont pas significativement différent au seuil de probabilité $P = 0,05$.

A: Traitement insecticide (cypercal® 50 EC); B: Traitement fongicide (trimangol® 80 WP);

C: Traitement combiné insecticide + fongicide (cypercal® 50 EC + trimangol® 80 WP);

D: Témoin (aucun traitement chimique).

Traitement	Nombre moyen de fruits par plant	Poids moyen de fruits (g/plant)	Rendement en fruits (kg/ha)
A	381,2 ^b	934,2 ^b	9 342 ^b
B	349,2 ^b	750,6 ^b	7 506 ^b
C	601,2 ^a	1352,4 ^a	13 524 ^a
D	169,6 ^c	330,8 ^c	3 308 ^c

III.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES

III.3.1 Viabilité des semences

Pour toutes les variétés de piment utilisées au cours de cette expérience, le taux de germination est élevé immédiatement après la préparation des semences. Mais une fois conservées dans les différents matériels de conditionnement, ces semences se comportent différemment suivant les variétés. En effet, la perte du pouvoir germinatif est plus accélérée lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène pour toutes les variétés. Le taux de germination des semences est plus élevé pendant un temps de conservation plus long lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en aluminium. Les boîtes en verre et les boîtes en plastique occupent des positions intermédiaires entre les deux groupes de milieux de conditionnement ci-dessus cités (Fig. 16a, 16b, 16c et 16d). En général, les variétés Safi et Big sun perdent plus rapidement leur pouvoir germinatif au cours de la conservation des semences immédiatement après la préparation, les

différents milieux de conditionnement ne permettant qu'à retarder un peu le vieillissement des semences. Ce vieillissement est presque entièrement atteint 6 mois après la conservation des semences, quel que soit le milieu de conditionnement utilisé. Au-delà de ce temps de conservation, le pourcentage de germination est pratiquement nul pour ces deux variétés.

Pour les variétés Thaïlande et local, le pourcentage de germination des semences s'améliore d'ailleurs au cours des 2-3 premiers mois de conservation, et la viabilité demeure relativement non affectée pendant cette période de stockage de ce matériel végétal. Au-delà de cette période de conservation, l'effet adverse de l'âge sur la viabilité des semences commence à se manifester. Vers la mise en place des trois derniers tests de germination, aux 5^e, 6^e et 7^e mois respectivement de conservation des semences, les différences de viabilité entre les différents matériels de conditionnement des semences sont significatives, la conservation étant meilleure dans les sachets en aluminium, et mauvaise dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène. Dans ces deux derniers matériels de conditionnement, des affections fongiques sont visibles sur les semences, probablement en raison de leur perméabilité à l'air et/ou à l'humidité. Les semences de la variété Local perdent presque totalement leur viabilité après 6 mois de conservation quels que soient les matériels de conditionnement considérés, exception faite des semences de la variété Thaïlande qui continuent à conserver un certain degré de viabilité au-delà de ce temps de conservation.

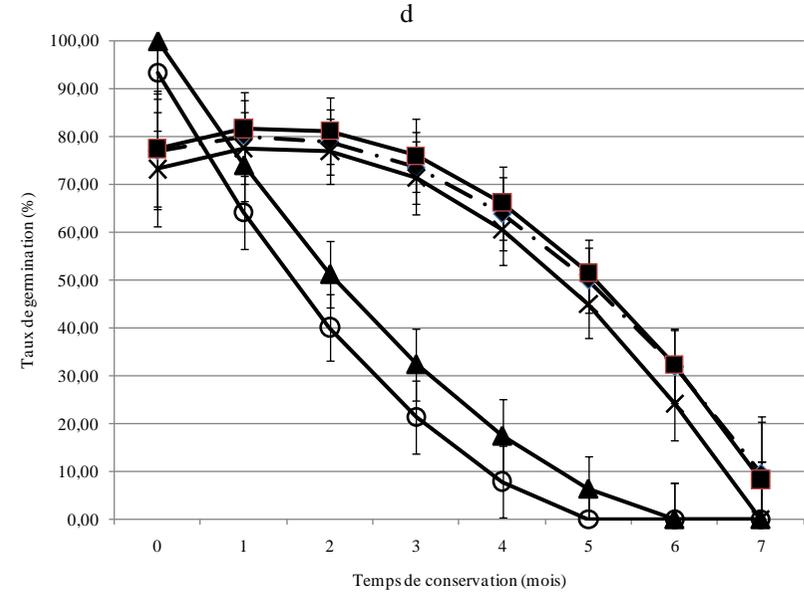
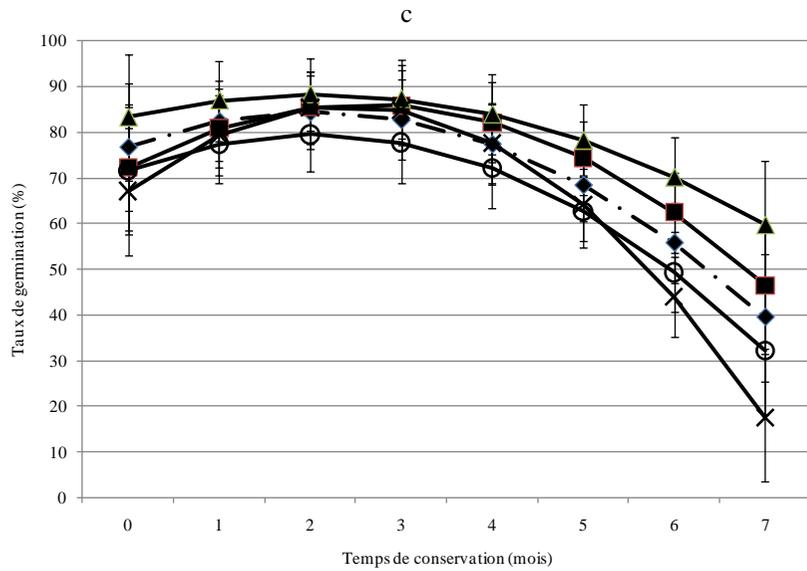
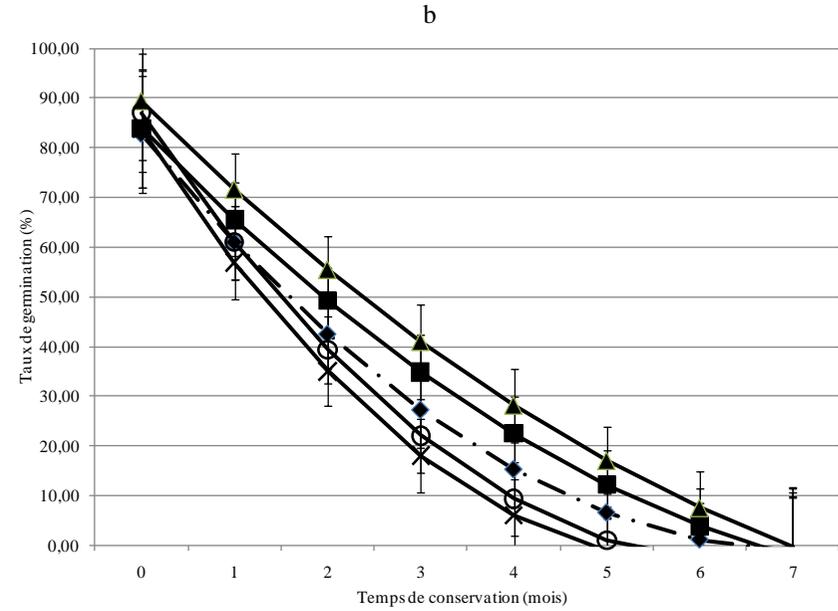
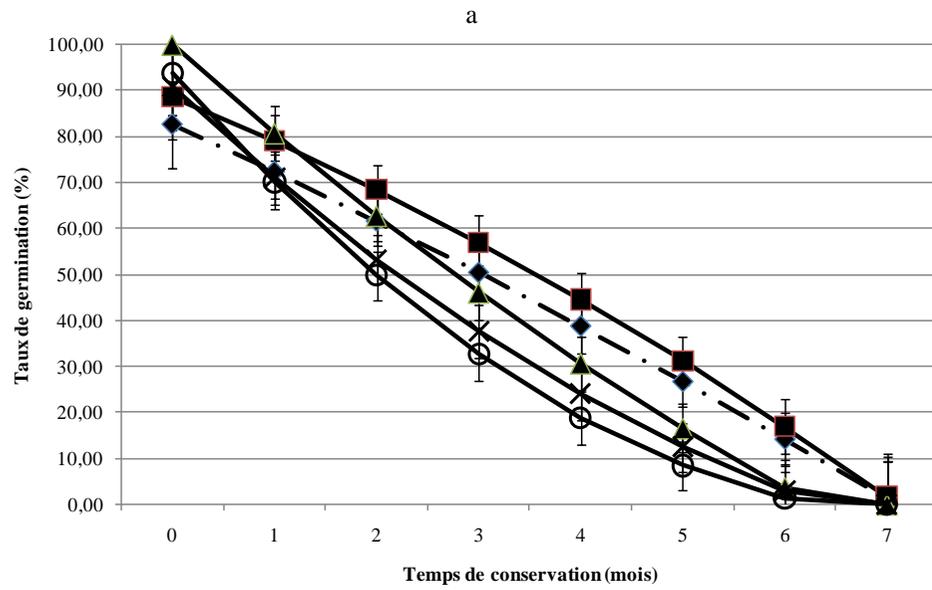


Fig.16. Effet du temps de conservation sur la viabilité des semences de piment (a = Safi, b = Big sun, c = Thaïlande, d = Local)
 —◆— Boite en verre —■— Boite en plastique —▲— Sachet en aluminium —x— Sachet en papier —○— Sachet en polyéthylène

III.3.2 Développement végétatif des plantules

Les paramètres du développement végétatif des plantules (hauteur de la plantule, nombre, longueur et largeur des feuilles) en général, évoluent différemment avec la durée du temps de conservation dans tous les matériels de conditionnement des semences.

Pour la variété Safi, des différences significatives entre les différents matériels de conditionnement de semences s'obtiennent seulement entre le 1^{er} et le 2^e mois suivant la préparation des semences, les plantules issues des semences conservées dans les boîtes en plastique ayant les hauteurs les plus élevées (Tableau XIX). Par contre, les plantules issues des semences conservées dans les sachets en aluminium ont les nombres de feuilles les plus élevés, et ces feuilles ont en même temps des dimensions (longueur et largeur) plus grandes. Les sachets en aluminium fournissent donc les plantules les plus vigoureuses d'une part, puis les sachets en papier et les sachets en polyéthylène les plantules les moins vigoureuses, d'autre part.

Des différences significatives entre les différents matériels de conditionnement des semences, pour la variété Big sun, s'obtiennent entre le 1^{er} et le 3^e mois suivant la préparation des semences. En effet, les plantules issues des semences conservées dans les boîtes en verre ont les hauteurs les plus élevées pendant ce temps de conservation des semences. Par ailleurs, le nombre, la longueur et la largeur des feuilles évoluent plutôt positivement pendant ce temps de conservation des semences, les plantules issues des semences conservées dans des sachets en aluminium ayant le nombre le plus élevé. Entre le 3^e et le 6^e mois de conservation des semences, les paramètres du développement végétatif diminuent indépendamment du milieu de conditionnement des semences. Au-delà du 6^e mois de conservation, les semences de la variété Big sun perdent totalement leur viabilité.

Considérant la variété Thaïlande, des différences significatives sont également notées entre les différents matériels de conditionnement entre le 1^{er} et le 3^e mois suivant la préparation des semences. Ici, les plantules issues des semences conservées dans les boîtes en verre ont les tailles les plus élevées (12,5-13 cm). Les différents paramètres du développement végétatif évoluent positivement du 1^{er} au 3^e mois suivant la préparation des semences, les plantules issues des sachets en aluminium ayant les performances les plus élevées. Les sachets en papier et les sachets en polyéthylène ont les performances les plus faibles. Au-delà de 3 mois de conservation dans les différents matériels de conditionnement des semences, un déclin notable s'observe au niveau de tous les paramètres du développement végétatif, jusqu'à l'âge de 6 mois lorsque la perte de viabilité s'observe chez la plupart des semences.

Des différences significatives s'observent également entre les différents matériels de conditionnement des semences pour la variété Local, entre le 1^{er} et le 2^e mois suivant la préparation des semences. Les plantules issues des semences conservées dans les boîtes en verre ont les tailles les plus élevées (9 cm), et celles conservées dans les sachets en polyéthylène les plus faibles (7,5 cm). Les paramètres du développement végétatif évoluent positivement du 1^{er} au 3^e mois après la préparation des semences, où le pic du nombre de feuille est obtenu chez les plantules issues des semences conservées dans les boîtes en verre (8). Entre le 3^e et le 6^e mois de conservation des semences, les différents paramètres du développement végétatif déclinent drastiquement, particulièrement la longueur et la largeur des feuilles, pour s'annuler vers le 7^e mois de conservation des semences lorsque celles-ci perdent totalement leur viabilité.

Tableau XIX. Développement végétatif des plantules issues des semences conditionnées dans différents matériels.

Pour chaque variable, les valeurs suivies des mêmes lettres dans la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité $P = 5 \%$.

*: Observations faites immédiatement après la préparation des semences.

** : A = Boîte en verre; B = Boîte en plastique; C = Sachet en papier; D = Sachet en polyéthylène; E = Sachet en aluminium.

Variables	Variétés	Matériels de conditionnement	Temps de conservation des semences (mois)					
			0*	1	2	3	4	5
Hauteur moyenne de la plantule	Safi	A**	11,5 _b	11,3 _{ab}	11,1 _{ab}	8,5 _b	6,3 _c	5,2 _b
		B	12,4 _{ab}	12,0 _a	12,0 _a	8,7 _b	6,0 _c	4,9 _c
		C	12,2 _a	11,8 _{ab}	11,2 _{ab}	9,0 _{ab}	7,2 _{ab}	6,6 _b
		D	12,0 _{ab}	11,8 _{ab}	10,0 _{ab}	10,7 _{ab}	5,0 _c	4,3 _{bc}
		E	10,3 _{bc}	9,5 _b	10,5 _{ab}	9,2 _{ab}	6,0 _c	5,1 _b
	Big sun	A	12,2 _{ab}	12,0 _a	9,7 _b	7,0 _c	5,8 _c	5,2 _b
		B	10,8 _{bc}	10,5 _{ab}	10,4 _{ab}	9,2 _{ab}	5,5 _c	4,9 _{bc}
		C	11,2 _b	10,7 _{ab}	10,0 _{ab}	7,8 _c	5,4 _c	4,7 _{bc}
		D	11,8 _b	11,0 _{ab}	9,4 _b	9,0 _{ab}	5,0 _c	4,1 _{bc}
		E	10,7 _{bc}	10,2 _b	10,0 _{ab}	8,5 _b	4,9 _d	4,5 _{bc}
	Thaïlande	A	13,6 _a	13,1 _a	12,5 _a	12,0 _a	11,3 _a	10,5 _a
		B	12,4 _{ab}	11,2 _{ab}	10,8 _{ab}	10,3 _{ab}	10,8 _a	9,6 _a
		C	12,9 _{ab}	12,5 _a	11,6 _{ab}	11,1 _a	11,7 _a	10,0 _a
		D	12,5 _{ab}	12,3 _a	11,0 _{ab}	10,5 _{ab}	10,2 _a	9,8 _a
		E	13,1 _a	12,2 _a	12,0 _a	11,2 _a	10,2 _a	10,4 _a
	Local	A	10,2 _{bc}	9,0 _b	8,5 _b	8,0 _b	7,4 _b	6,2 _b
		B	9,6 _c	8,4 _b	8,2 _b	7,8 _c	6,3 _c	5,1 _b
		C	9,2 _c	8,6 _b	8,0 _b	8,2 _b	6,0 _c	4,8 _{bc}
		D	8,8 _c	8,5 _b	8,2 _b	8,0 _b	4,8 _d	3,6 _c
		E	9,1 _c	8,5 _b	8,7 _b	8,5 _b	5,6 _c	3,1 _c
Nombre moyen de feuilles par plantule	Safi	A	8,5 _{ab}	8,0 _{ab}	8,0 _a	7,0 _b	6,7 _c	5,2 _{bc}
		B	8,2 _{ab}	7,5 _b	7,0 _b	7,0 _b	6,5 _c	6,0 _b
		C	9,5 _a	9,0 _a	8,0 _a	7,0 _b	6,5 _c	4,6 _c
		D	8,8 _{ab}	8,6 _{ab}	8,0 _a	8,0 _a	6,7 _c	4,0 _c
		E	9,8 _a	9,0 _a	8,0 _a	8,0 _a	6,5 _c	5,2 _{bc}
	Big sun	A	8,2 _{ab}	7,5 _b	7,3 _b	7,0 _b	7,0 _b	6,2 _b
		B	9,2 _a	9,0 _a	8,5 _a	8,0 _a	6,8 _c	5,4 _{bc}
		C	9,4 _a	8,9 _{ab}	8,5 _a	8,0 _a	6,5 _c	4,8 _c
		D	8,5 _{ab}	8,0 _{ab}	7,5 _b	7,0 _b	6,0 _c	5,6 _{bc}
		E	8,0 _{ab}	7,9 _b	7,0 _b	7,0 _b	6,3 _c	5,4 _{bc}
	Thaïlande	A	9,4 _a	9,0 _a	8,6 _a	8,0 _a	7,8 _b	6,0 _b
		B	8,5 _{ab}	8,2 _{ab}	8,0 _a	7,9 _b	7,8 _b	7,2 _{ab}
		C	8,0 _{ab}	8,0 _{ab}	7,0 _b	8,0 _a	8,5 _a	8,0 _a
		D	9,0 _a	9,0 _a	8,9 _a	8,0 _a	8,0 _a	7,2 _{ab}
		E	9,6 _a	9,0 _a	8,0 _a	8,6 _a	8,5 _a	6,6 _b
	Local	A	8,5 _{ab}	8,0 _{ab}	8,0 _a	7,0 _b	7,5 _b	6,5 _b
		B	8,9 _{ab}	8,0 _{ab}	8,0 _a	7,0 _b	7,8 _b	5,8 _{bc}
		C	8,4 _{ab}	7,8 _b	7,6 _b	7,0 _b	6,2 _c	5,2 _{bc}
		D	7,5 _b	6,0 _c	6,0 _c	7,0 _b	6,3 _c	6,0 _b
		E	7,7 _b	7,0 _b	8,0 _a	8,0 _a	6,5 _c	6,3 _b

Tableau XIX (suite). Développement végétatif des plantules issues des semences conditionnées dans différents matériels.

Pour chaque variable, les valeurs suivies des mêmes lettres dans la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité $P = 5\%$.

*: Observations faites immédiatement après la préparation des semences.

** : A = Boîte en verre; B = Boîte en plastique; C = Sachet en papier; D = Sachet en polyéthylène; E = Sachet en aluminium.

Variables	Variétés	Matériels de conditionnement	Temps de conservation des semences (mois)					
			0*	1	2	3	4	5
Longueur moyenne de la feuille	Safi	A	11,0 _a	10,8 _a	7,1 _b	7,0 _a	5,7 _{ab}	5,0 _{ab}
		B	9,1 _b	8,8 _b	7,5 _b	6,5 _b	5,7 _{ab}	5,5 _{ab}
		C	9,7 _b	9,5 _{ab}	9,5 _a	6,2 _b	6,1 _a	6,0 _a
		D	8,2 _{bc}	7,9 _{bc}	7,3 _b	7,5 _a	4,2 _b	3,9 _c
		E	8,8 _{bc}	8,8 _b	8,4 _{ab}	7,3 _a	5,9 _{ab}	5,4 _{ab}
	Big sun	A	8,2 _{bc}	7,6 _{bc}	7,5 _b	6,3 _b	6,2 _a	6,0 _a
		B	9,0 _b	8,6 _b	8,2 _{ab}	7,6 _a	5,9 _{ab}	4,4 _b
		C	9,8 _b	9,5 _{ab}	9,8 _a	7,5 _a	5,8 _{ab}	4,5 _b
		D	8,6 _{bc}	7,9 _{bc}	7,5 _b	6,0 _b	5,3 _{ab}	5,0 _{ab}
		E	8,8 _{bc}	8,2 _b	6,7 _c	7,1 _a	4,9 _b	4,5 _b
	Thaïlande	A	9,8 _b	9,7 _{ab}	9,2 _a	6,6 _b	5,6 _{ab}	4,6 _b
		B	8,0 _{bc}	7,7 _{bc}	7,3 _b	6,5 _b	4,8 _b	5,0 _{ab}
		C	8,5 _{bc}	8,5 _b	7,1 _b	7,6 _a	5,2 _{ab}	4,4 _b
		D	9,0 _b	8,7 _b	8,1 _{ab}	6,0 _b	4,9 _b	4,2 _b
		E	7,8 _c	7,8 _{bc}	7,5 _b	7,2 _a	5,4 _{ab}	4,6 _b
	Local	A	7,0 _c	5,9 _c	5,6 _c	6,8 _b	5,5 _{ab}	3,4 _c
		B	6,8 _c	5,6 _c	6,2 _b	6,2 _b	5,7 _{ab}	3,8 _c
		C	7,0 _c	6,7 _c	6,5 _c	6,2 _b	6,0 _a	4,6 _b
		D	6,9 _c	6,7 _c	5,2 _c	6,0 _b	5,2 _{ab}	5,0 _{ab}
		E	7,2 _c	6,8 _c	6,8 _c	6,3 _b	4,6 _b	4,0 _b
Largeur moyenne de la feuille	Safi	A	9,2 _a	9,0 _a	6,5 _b	6,3 _a	3,7 _b	2,8 _c
		B	7,5 _b	7,4 _b	6,4 _b	5,3 _b	4,4 _a	4,2 _a
		C	8,0 _{ab}	7,4 _b	7,9 _{ab}	5,0 _b	4,6 _a	4,1 _a
		D	7,1 _b	6,6 _{bc}	6,1 _b	6,6 _a	3,4 _b	3,1 _b
		E	7,5 _b	7,4 _b	6,6 _b	6,3 _a	4,4 _a	3,2 _b
	Big sun	A	7,4 _b	7,0 _b	6,4 _b	5,3 _b	4,4 _a	3,3 _b
		B	7,2 _b	6,4 _{bc}	6,9 _b	6,1 _a	4,5 _a	3,9 _b
		C	8,2 _{ab}	8,3 _{ab}	8,1 _a	6,6 _a	4,0 _a	3,2 _b
		D	7,2 _b	6,9 _{bc}	6,9 _b	5,6 _b	4,0 _a	3,6 _b
		E	7,0 _b	7,1 _b	6,3 _b	6,1 _a	3,8 _b	3,2 _b
	Thaïlande	A	7,5 _b	6,6 _{bc}	7,4 _{ab}	6,0 _a	1,9 _c	2,0 _c
		B	6,0 _{bc}	5,4 _c	5,9 _{bc}	5,5 _b	1,9 _c	1,8 _c
		C	7,0 _b	6,8 _{bc}	6,5 _b	6,5 _a	2,0 _c	1,3 _c
		D	6,8 _{bc}	6,6 _{bc}	6,2 _b	5,5 _b	2,0 _c	1,5 _c
		E	5,8 _c	5,5 _c	5,3 _{bc}	4,3 _c	2,4 _c	2,1 _c
	Local	A	5,7 _c	5,6 _c	4,7 _c	5,2 _b	4,3 _a	3,5 _b
		B	4,9 _c	4,4 _c	5,8 _{bc}	5,6 _b	3,4 _b	2,8 _c
		C	5,8 _c	4,1 _c	5,4 _{bc}	5,5 _b	4,4 _a	3,5 _b
		D	6,5 _{bc}	6,0 _{bc}	5,0 _{bc}	5,2 _b	3,2 _b	3,0 _b
		E	6,0 _{bc}	5,8 _c	5,7 _{bc}	5,4 _b	3,5 _b	3,0 _b

III.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS

III.4.1 Formules d'engrais et développement végétatif et reproductif

Des différences significatives sont notées au niveau des différents traitements, qu'il s'agisse des engrais simples ou composés (Tableau XX). En effet, le traitement à l'azote uniquement (urée) a une influence positive sur les paramètres du développement végétatif, tels la hauteur de la plante (127,50 cm) et la largeur de la canopée (99,83 cm), mais un effet négatif sur les paramètres du développement reproductif, tels l'intervalle plantation-floraison (45 jours), le cycle floraison-fructification (172 jours), le nombre de fruits par plant au cours du cycle reproductif des plants de piment (80 fruits) et le poids des fruits par plant (327,3 g). Cependant, le phosphore (P), seul (T2) ou en combinaison avec N (T4) ou K (T6), ont des effets significatifs aussi bien pour les paramètres du développement végétatif que reproductif, comparativement aux autres traitements. Le nombre de fruits par plant dans les traitements T4 et T6 sont de 27 % à 57 % respectivement plus élevés que chez le témoin T9, tandis que le poids de fruits par plant sont 76 % à 124 % plus élevés respectivement que chez le témoin T9.

Tableau XX. Effet des formules d'engrais sur le développement végétatif et reproductif des plants de piment (*Capsicum annum L.*).

HP: Hauteur de la plante; LC: Largeur de la canopée; IPF: Intervalle plantation-floraison; CFF: Cycle floraison-fructification; NFP: Nombre de fruits par plant; PFP: Poids de fruits par plant; RF: Rendement en fruits.

Traitements	Paramètres observés						
	HP	LC	IPF	CFF	NFP	PFP	RF
T1	127,50 _a	99,83 _c	45,83 _a	172,00 _{cd}	80,00 _b	327,30 _c	3 273 _c
T2	78,00 _c	81,16 _{cde}	38,66 _{bc}	194,83 _b	115,17 _b	532,00 _{bc}	5 320 _{bc}
T3	71,50 _c	77,16 _{de}	36,34 _c	187,66 _{bc}	139,33 _b	603,70 _{bc}	6 037 _{bc}
T4	86,33 _{bc}	96,16 _{cd}	40,00 _{bc}	210,50 _b	148,00 _b	752,20 _{bc}	7 522 _{bc}
T5	96,83 _b	122,00 _b	35,00 _c	205,00 _b	96,33 _b	423,00 _{bc}	4 230 _{bc}
T6	79,16 _c	81,16 _{cde}	39,16 _{bc}	198,67 _b	181,17 _b	957,70 _b	9 577 _b
T7	121,16 _a	132,83 _a	30,83 _d	246,83 _a	287,67 _a	1456,20 _a	14 562 _a
T8	74,33 _c	76,67 _{dc}	38,83 _{bc}	169,00 _{cd}	164,83 _b	721,80 _{bc}	7 218 _{bc}
T9	75,00 _c	72,16 _e	42,16 _{ab}	159,00 _d	115,67 _b	426,50 _{bc}	4 265 _{bc}

De même, la potasse K seule (T3) ou en combinaison avec N (T5) ou P (T6), ont des effets significatifs aussi bien sur les paramètres du développement végétatif (largeur de la canopée), mais surtout du développement reproductif des plants de piment (intervalle plantation-floraison, cycle floraison-fructification, nombre et poids de fruits par plant), par rapport au reste des traitements. La combinaison des trois engrais simples NPK 19-4-16 (T7) a des effets hautement significatifs sur tous les paramètres de développement, qu'il surpasse de loin. Ici, le nombre et le poids de fruits par plant, soit 148,7 % et 241,5 % respectivement, sont plus élevés par rapport au témoin non traité; ils sont par ailleurs 74,5 % et 101,75 % respectivement plus élevés que la fertilisation organique à la fiente de poule (T8). Toutefois, la fertilisation organique à la fiente de poule n'améliore que peu les paramètres du développement aussi bien végétatif que reproductif des plants de piment par rapport aux engrais minéraux, même s'il améliore significativement le cycle floraison-fructification (169 jours) par rapport au témoin n'ayant reçu aucun traitement fertilisant (159 jours).

III.4.2 Doses d'engrais et développement végétatif et reproductif.

Aucune différence significative n'est pas observée au niveau des différents paramètres du développement végétatif (hauteur de la plante et largeur de la canopée) pour tous les traitements NPK 19-4-16, indépendamment des doses d'application (Tableau XXI). Cependant, des différences significatives sont notées au niveau des paramètres du développement reproductif, tels l'intervalle plantation-floraison d'une part, et le nombre et le poids de fruits par plant d'autre part. En effet, le nombre de fruits par plante est significativement plus élevé (203,67 %), lorsque NPK 19-4-16 est appliqué 4 fois (T13) au cours des cycles végétatif et reproductif, à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation, comparativement aux autres traitements minéraux et organique, le témoin T9 inclus. De même, le poids de fruits par plant, pour ce traitement NPK (T13), est significativement plus élevé (916,2 g/plant) comparativement aux autres traitements: il est 76,8 % plus élevé que le T10 (NPK appliqué à la dose unique) et 121,4 % plus élevé que T14 (fiente de poule appliquée 4 fois au cours du cycle reproductif). Il est à noter que la fertilisation organique (à la fiente de poule) a plutôt tendance à allonger l'intervalle plantation-floraison (38 jours), comparativement à la fertilisation minérale (T10, T11, T12, et T13), quelles que soient les doses d'application, où cet intervalle est compris entre 30 et 33 jours. Pour ce paramètre du

développement reproductif, la fertilisation organique (38 jours) est comparable au témoin (T9) n'ayant reçu aucun traitement fertilisant (42 jours).

Tableau XXI. Effet des différentes doses d'engrais organique et minéral NPK (19-4-16) sur le développement végétatif et reproductif des plants de piment (*Capsicum annuum* L.).

HP: Hauteur de la plante; LC: Largeur de la canopée; IPF: Intervalle plantation-floraison; CFF: Cycle floraison-fructification; NFP: Nombre de fruits par plant; PFP: Poids de fruits par plant; RF: Rendement en fruits.

Traitements	Paramètres observés						
	HP	LC	IPF	CFF	NFP	PFP	RF
T10	126,50 _a	127,33 _a	30,33 _b	217,33 _a	126,20 _c	618,20 _{bc}	6 182 _{bc}
T11	110,00 _a	120,67 _a	31,66 _b	212,67 _a	163,72 _b	704,80 _b	7 048 _b
T12	124,83 _a	120,50 _a	32,16 _b	237,83 _a	201,05 _{ab}	924,80 _{ab}	9 248 _{ab}
T13	117,17 _a	117,33 _a	33,33 _b	234,17 _a	292,45 _a	1316,20 _a	13 162 _a
T14	102,50 _a	112,50 _a	38,33 _a	200,67 _a	172,75 _b	673,80 _{bc}	6 738 _{bc}
Témoin	75,00 _b	72,16 _b	42,16 _a	159,00 _b	115,67 _c	426,50 _c	4 265 _c

III.4.3 Modes d'application d'engrais et développement végétatif et reproductif

Aucune différence significative n'est pas notée au niveau des paramètres du développement végétatif (hauteur de la plante et largeur de la canopée) au cours de cette expérience (Tableau.XXII), pour les différents modes d'application des engrais minéraux NPK 19-4-16. Les différents modes de placement du fertilisant minéral NPK ont des effets significativement plus élevés que la fertilisation organique pour ces deux paramètres, avec 84,83 cm pour la hauteur moyenne de la plante et 94,16 cm pour la largeur moyenne de la canopée. Cette tendance est aussi observée au niveau des paramètres du développement reproductif: intervalle plantation-floraison et cycle floraison-fructification. En effet, le traitement T19 (fiente de poule, appliquée en dispersion régulière sous la frondaison, 4 fois au cours du cycle reproductif des plants de piment) a tendance à allonger l'intervalle plantation-floraison (39 jours), comparativement aux traitements à l'engrais minéral NPK, indépendamment du mode d'application (29 à 34 jours). A l'inverse, ce même traitement T19 a plutôt tendance à réduire le cycle floraison-fructification (177 jours), comparativement aux traitements à l'engrais minéral NPK, indépendamment du mode de placement (218 à 239 jours).

Des différences significatives sont cependant observées au niveau des autres paramètres du développement reproductif, tels que le nombre et le poids de fruits par plante. En effet, le traitement NPK appliqué en dispersion régulière sous la frondaison, 4 fois au cours du cycle reproductif des plants de piment (T17) donne le nombre le plus élevé (208 fruits) de fruits par plante, ainsi que le poids le plus élevé (1171,20 g/plant) de fruits par plante. Le nombre de fruits par plante en T17 est ainsi significativement plus élevé que celui obtenu pour les autres modes d'application du fertilisant NPK, et l'augmentation est de 75 % plus élevé que la fiente de poule appliquée en dispersion régulière sous la frondaison des plants de piment, 4 fois au cours du cycle reproductif (T19). De même, le poids de fruits par plante en T17 est aussi significativement plus élevé que celui obtenu pour les autres modes d'application du fertilisant NPK, et de 174 % plus élevé que le poids de fruits obtenu pour le traitement témoin T9, et jusqu'à 108,10 % plus élevé que celui obtenu pour le traitement T19.

Tableau XXII. Effet de différents modes de placement d'engrais organique et minéral NPK (19-4-16) sur le développement végétatif et reproductif des plants de piment (*Capsicum annuum* L.)

HP: Hauteur de la plante; LC: Largeur de la canopée; IPF: Intervalle plantation-floraison; CFF: Cycle floraison-fructification; NFP: Nombre de fruits par plant; PFP: Poids de fruits par plant; RF: Rendement en fruits.

Traitements	Paramètres observés						
	HP	LC	IPF	CFF	NFP	PFP	RF
T15	121,33 _a	126,33 _a	30,00 _b	232,50 _a	123,00 _b	666,70 _b	6 667 _b
T16	127,66 _a	122,16 _a	34,00 _b	218,33 _a	136,33 _{ab}	786,20 _{ab}	7 862 _{ab}
T17	127,00 _a	133,16 _a	29,83 _b	218,17 _a	223,00 _a	1271,20 _a	12 712 _a
T18	125,50 _a	124,66 _a	30,83 _b	239,00 _a	167,50 _{ab}	927,00 _{ab}	9 270 _{ab}
T19	84,83 _b	94,16 _b	39,66 _a	177,00 _b	118,83 _b	562,80 _b	5 628 _b
Témoin	75,00 _b	72,16 _b	42,16 _a	159,00 _b	115,67 _b	426,50 _c	4 265 _c

Toutefois, pour ces deux derniers paramètres du développement reproductif, les traitements T15 (placement des engrais minéraux NPK 19-4-16 en deux points -à gauche et à droite- du plant de piment, à l'aplomb de la frondaison, 4 fois au cours du cycle reproductif des plants) et T19 (fiente de poule, appliquée en dispersion régulière sous la frondaison 4 fois

au cours du cycle reproductif des plants de piment) ont les rendements (nombre et poids de fruits par plante) les plus faibles; ces paramètres ne sont pas significativement différents pour les traitements T16 (application des engrais minéraux NPK en deux bandes -à gauche et à droite- de la ligne des plants, à l'aplomb de la frondaison, 4 fois au cours du cycle reproductif des plants) et T18 (application en couronne des engrais minéraux NPK, tout autour de la plante, à l'aplomb de la frondaison, 4 fois au cours du cycle reproductif des plants de piment).

III.4.4 Analyse économique des différents traitements

Le coût des engrais minéraux et organique a varié d'un traitement à l'autre selon les quantités utilisées tout au long de chaque expérience (Tableau XXIII), alors que le coût des pesticides et celui de la main-d'œuvre ont été plutôt constants quel que soit le traitement. Les coûts variables les plus élevés étaient relatifs à l'utilisation de l'engrais composé 4 x NPK (1 894 000 FCFA/ha) pour toutes les trois expériences. A l'opposé, les deux traitements pour lesquels les coûts variables totaux étaient les moins élevés étaient 4 x 100 kg de fiente (1 440 000 FCFA) et le témoin (1 390 000 FCFA).

Par ailleurs, les rendements en fruits les plus élevés ont été obtenus lors de l'utilisation de l'engrais composé 4 x NPK, soit T7 (14 562 kg/ha), T13 (13 162 kg/ha) et T17 (12 712 kg/ha) respectivement pour les expériences 1, 2 et 3. Les autres traitements ont produit des rendements relativement plus faibles. Ces trois traitements ont généré les revenus les plus élevés, soit T7 (14 562 000 FCFA/ha), T13 (13 162 000 FCFA/ha) et T17 (12 712 000 FCFA/ha). Ces revenus ont respectivement été 341 %, 308 % et 298 % significativement supérieurs au témoin T9 -ce qui en moyenne laisse espérer une augmentation de 300 %. Par ailleurs, le traitement T7 a eu le rapport bénéfice-coût le plus élevé ($r = 6,7$), suivi des traitements T13 ($r = 5,9$) et T17 ($r = 5,7$). Pour ces trois traitements, les rapports r (non significativement différents entre eux) sont significativement supérieurs à ceux des traitements T5 ($r = 1,3$) et T1 ($r = 1$). Tous les autres traitements ont eu des rapports bénéfice-coût intermédiaires, indépendamment de l'expérience considérée.

Tableau XXIII. Analyse économique des différents traitements.

*: Taux de change: 1 € = 655,95 FCFA.

Traitement	Paramètres observés							
	Coût des engrais (FCFA/ha)	Coût des pesticides (FCFA/ha)	Main-d'œuvre (FCFA/ha)	Coûts variables totaux (FCFA/ha)	Rendement (kg/ha)	Revenu Brut (FCFA/ha)	Bénéfice brut (FCFA/ha)*	Rapport bénéfique/coût (r)
Expérience 1								
T1	216 000	190 000	1 200 000	1 606 000	3 273	3 273 000	1 667 000	1,0 _c
T2	115 200	190 000	1 200 000	1 505 200	5 320	5 320 000	3 814 800	2,5 _{bc}
T3	172 800	190 000	1 200 000	1 562 800	6 037	6 037 000	4 474 200	2,9 _{bc}
T4	331 200	190 000	1 200 000	1 721 200	7 522	7 522 000	5 800 800	3,4 _{ab}
T5	388 800	190 000	1 200 000	1 778 800	4 230	4 230 000	2 451 200	1,4 _c
T6	288 000	190 000	1 200 000	1 678 000	9 577	9 577 000	7 899 000	4,7 _{ab}
T7	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	14 562	14 562 000	12 668 000	6,7 _a
T8	50 000	190 000	1 200 000	1 440 000	7 218	7 218 000	5 778 000	4,0 _{ab}
T9	0	190 000	1 200 000	1 390 000	4 265	4 265 000	2 875 000	2,0 _{bc}
Expérience 2								
T10	126 000	190 000	1 200 000	1 516 000	6 182	6 182 000	4 666 000	3,0 _{ab}
T11	252 000	190 000	1 200 000	1 642 000	7 048	7 048 000	5 406 000	3,3 _{ab}
T12	378 000	190 000	1 200 000	1 768 000	9 248	9 248 000	7 480 000	4,3 _{ab}
T13	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	13 162	13 162 000	11 268 000	5,9 _a
T14	50 000	190 000	1 200 000	1 440 000	6 738	6 738 000	5 298 000	3,7 _{ab}
Témoin	0	190 000	1 200 000	1 390 000	4 265	4 265 000	2 875 000	2,0 _{bc}
Expérience 3								
T15	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	6 667	6 667 000	4 773 000	2,5 _{bc}
T16	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	7 862	7 862 000	5 968 000	3,2 _{ab}
T17	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	12 712	12 712 000	10 818 000	5,7 _a
T18	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	9 270	9 270 000	7 376 000	3,8 _{ab}
T19	50 000	190 000	1 200 000	1 440 000	5 628	5 628 000	4 188 000	2,9 _{bc}
Témoin	0	190 000	1 200 000	1 390 000	4 265	4 265 000	2 875 000	2,0 _{bc}

CHAPITRE IV
DISCUSSION

CHAPITRE IV. DISCUSSION

IV.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS

Une grande variabilité entre les différents caractères morphologiques chez toutes les accessions de la collection est observée. En effet, la culture du piment s'adapte à la presque totalité des zones agro-écologiques du Cameroun, comprises de 0 m (niveau de la mer) à plus de 2 000 m d'altitude, et des zones les plus arides jusqu'aux plus humides. Cette hétérogénéité des conditions aussi bien pédologiques que climatiques favorise la présence de plusieurs génotypes locaux morphologiquement très différents. Par ailleurs, le développement du commerce du piment aux niveaux local, sous-régional Afrique Central et même international engendre l'introduction au Cameroun de ressources génétiques très diversifiées, en vue de répondre aux exigences d'une clientèle très variée de cette denrée à usages multiples (industries alimentaire, pharmaceutique, cosmétique, etc.). Aussi, les deux modes d'auto-pollinisation et de pollinisation croisée sont rencontrés naturellement chez le genre *Capsicum*: étant donné que le piment se multiplie essentiellement par voie générative, les matériels génétiques local et introduit se croisent au fil du temps pour donner plusieurs génotypes intermédiaires dans les jardins horticoles et qui pourraient être à l'origine de la grande variabilité morphologique observée au sein des différentes accessions de cette collection. Des observations similaires avaient déjà été faites par d'autres auteurs (Zewdie et Zeven, 1997; Bozokalfa et Esiyok, 2011).

Les corrélations entre les caractères morphologiques quantitatifs les plus représentatifs, les composantes du rendement et le rendement final en fruits sont faites. Le piment est généralement une plante ayant un type de croissance végétative indéterminé et un port végétatif érigé; ainsi, le développement de certains caractères morphologiques tels la hauteur de la plante ou la largeur de la canopée fournirait plus d'organes végétatifs pour la production d'assimilats photosynthétiques en vue d'accroître les rendements en fruits. De même, la corrélation entre les dimensions de la feuille (longueur et largeur) et certaines composantes du rendement en fruits était positive et hautement significative. Le développement des dimensions foliaires implique l'augmentation de l'interception des radiations solaires et par voie de conséquence, de l'augmentation de la capacité photosynthétique par unité de la surface du sol. Au terme de cette expérience, il apparaît donc qu'il existe une association positive entre les caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final: cette assertion suggère que le développement de ces

caractères morphologiques résulterait directement ou indirectement en l'augmentation du rendement en fruits. D'autres auteurs avaient déjà rapporté des résultats similaires (Aliyu *et al.*; 2000; Singh *et al.*, 2009). Aussi, la sélection basée sur des caractères morphologiques hautement liés au rendement à un stade précoce permet de développer un cultivar ayant un haut potentiel de rendement en un temps plus court. Les résultats obtenus sont semblables à ceux rapportés par d'autres auteurs (Bousslama *et al.*, 2001; Sood *et al.*, 2009).

Les méthodes d'analyses multivariées utilisées au cours de cette expérience permettent d'obtenir 4 classes différentes, basées sur leurs affinités morphologiques. La classification ascendante hiérarchique forme des groupes semblables à ceux formés par l'AFCM. En plus, elle montre comment les accessions individuelles et les classes sont morphologiquement liées les unes aux autres, ce que l'AFCM ne peut pas montrer. La classification ascendante hiérarchique montre donc une représentation graphique plus précise de la manière dont les accessions morphologiquement similaires sont liées. Des résultats similaires avaient déjà été rapportés par d'autres auteurs (Sood et Kumar, 2011). En effet, deux accessions très rapprochées dans le dendrogramme ne sont pas significativement différentes sur le plan morphologique; plus elles sont éloignées l'une de l'autre, plus elles sont morphologiquement différentes, et de ce fait peuvent être compatibles lors des croisements intra-spécifiques contrôlés en vue de produire des hybrides vigoureux ayant un haut potentiel de rendement en fruits commercialisables. Des observations similaires avaient déjà été rapportées par d'autres auteurs (Uzo, 1984; Meshram et Mukewar, 1986).

IV.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS

Les différents traitements chimiques influencent beaucoup la sensibilité des différentes variétés de piment (Annexe 3) aux attaques des maladies virales; les traitements insecticides (traitement A) et insecticide + fongicide (traitement B) donnent les meilleurs résultats. En effet, les viroses sont présentes dans la presque totalité des exploitations de piments au Cameroun, le principal agent causal étant le *Potato Virus Y* (PVY): ces virus provoquent une mosaïque, pouvant progresser jusqu'aux nécroses et distorsions foliaires. A ce stade avancé de la maladie, la situation est irréversible et la diminution de la production en fruits de bonne qualité est significative. La lutte efficace contre le PVY est basée essentiellement sur l'utilisation des variétés tolérantes (lutte génétique) et sur un contrôle efficace contre les mouches blanches (*Bemisia tabaci* L.), vectrices de cette maladie (Aguilar, 2003; Silva, 2007).

Les traitements chimiques sont plus efficaces lorsqu'ils sont faits à titre préventif, immédiatement après la transplantation des plants en champ. L'efficacité des traitements chimiques contre les viroses est d'autant accrue lorsque le développement végétatif des plants est accéléré, par le choix d'un terrain et l'utilisation d'une fumure minérale et/ou organique appropriés (Aliyu, 2000; Arancon *et al.*, 2005).

Quant au contrôle de la fusariose, maladie fongique provoquant un flétrissement caractéristique des feuilles qui culmine en un dépérissement de la plante, les traitements fongiques (traitement B) et insecticide + fongicide (traitement C) donnent les résultats les plus intéressants. Des résultats similaires avaient déjà été rapportés par d'autres auteurs (Garzo *et al.*, 2001; Flors *et al.*, 2001). Cette maladie, présente et dévastatrice dans la plupart des régions productrices de piment au Cameroun, est à l'origine de pertes considérables de rendements en fruits commercialisables. Dans les exploitations horticoles, les traitements devraient être appliqués hebdomadairement, immédiatement après la récolte des fruits mûrs: l'intérêt de cette pratique agricole réside dans la réduction des résidus toxiques de pesticides sur les fruits destinés à la commercialisation (Hochel & Musil, 2002; Anthonius, 2004).

D'autre part, il conviendrait, pour lutter contre cette maladie, d'utiliser des variétés tolérantes et de pratiquer l'assolement des cultures, en évitant à tout prix de faire suivre des solanacées sur une même parcelle de terre. La fusariose a des effets redoutables sur des sols drainant mal. Ces considérations devraient être prises en compte lors du choix et de la préparation du terrain en vue de la production du piment.

Les mouches de fruits (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp.) causent des dommages énormes sur les populations de piment, en pondant leurs œufs dans les fruits immatures: le développement des larves, après éclosion, est à l'origine de la chute prématurée des fruits infestés dans les exploitations horticoles. Les traitements chimiques appliqués au cours de cette expérience ont un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur la réduction de la population de ravageurs, avec des rendements en fruits commercialisables très appréciables à la fin de la vie reproductive des plants. L'action des traitements chimiques aurait consisté en la destruction, la répulsion ou tout au moins la réduction des populations de ravageurs, en vue de préserver les fruits de piment des dommages/blessures qui leur sont causés. Des travaux analogues avaient déjà été rapportés par d'autres auteurs (Cruz *et al.*, 1984; Vicente & Costa, 1992; Grassely, 1996). Par ailleurs, les piqûres causées par les mouches de fruits sur les piments sont à l'origine d'énormes préjudices aux horticulteurs camerounais, car les produits ainsi infestés ont une valeur marchande considérablement réduite. Des cargaisons entières de

piment destinées à l'exportation vers les pays de l'Union Européenne pourraient être saisies et détruites par les services phytosanitaires des ports ou aéroports des pays d'accueil, ce qui représente des pertes énormes en devises directement pour l'exportateur et indirectement pour le producteur (Anonyme, 1991; Anonyme, 2001).

Enfin, les traitements chimiques utilisés au cours de cette expérience ont des effets hautement significatifs ($P < 0,001$) sur les paramètres du rendement: le nombre et le poids moyen des fruits sains récoltés au cours du cycle reproductif des plants de piment. En effet, le nombre et le poids de fruits sains récoltés sont considérablement élevés dans les parcelles ayant reçu ces différents traitements pesticides, dans l'ordre décroissant: insecticide + fongicide (traitement C), insecticide (traitement A), fongicide (traitement B), et finalement, le témoin n'ayant reçu aucun traitement chimique (traitement D).

Ces résultats laissent entrevoir que les Solanacées sont des plantes hautement parasitées dans les exploitations horticoles, et l'insuffisance, ou pire encore, l'absence des traitements chimiques conduiraient inexorablement à des pertes considérables de rendements en fruits commercialisables, comme rapporté par d'autres auteurs (Daniell & Falk, 1994; Espinosa *et al.*, 2002).

Toutefois, la plupart de pesticides sont conçus pour tuer une large gamme de ravageurs (toxicité à large spectre), et sont nuisibles aux ennemis naturels des ravageurs ainsi qu'aux insectes pollinisateurs qui jouent un rôle important sur le rendement en fruits, à l'environnement, à l'homme et aux animaux (Tamfik *et al.*, 1989). Un accent tout particulier devrait être mis sur la conception et la fabrication des pesticides sélectifs, afin d'accroître de façon significative la production de cette denrée qui aujourd'hui occupe une place de choix parmi les produits de diversification des exportations agricoles au Cameroun (Anonyme, 2000). Des efforts considérables devraient aussi être accordés à l'utilisation des différentes ressources végétales locales, à l'instar du tabac (*Nicotiana tabacum*) ou du neem (*Azadirachta indica*) pour la fabrication de pesticides naturels, qui sont à la fois économiques, et moins toxiques pour la plante, le consommateur et l'environnement (Anonyme, 1997; Ogbalu, 1999; Anonyme, 2007). On créerait ainsi une filière horticole axée sur des systèmes d'exploitation respectueux de l'environnement, autrement appelés agriculture «biologique», dont les produits ont une demande sur le marché international sans cesse croissante, et dont la valeur marchande est beaucoup plus élevée que les produits de l'agriculture conventionnelle (Anonyme, 1990).

IV.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES

L'évolution de la viabilité des semences de piment pendant les 2 et 3 premiers mois de conservation (variétés Thaïlande et Local), au cours de cette étude, n'est pas un phénomène inconnu. En effet, il a été rapporté que les semences de piment fraîchement préparées possèdent un niveau de dormance (Randle & Honma, 1981; Oladiran & Ogunbiade, 2000); pour ces semences, la dormance est spontanément levée au cours de la période de conservation (Fenner, 1980; Forsyth & Brown, 1982; Ellis *et al.*, 1983).

Par ailleurs, cette étude révèle que les semences de piment gardent plus longtemps leur viabilité lorsqu'elles sont conservées dans des sachets en aluminium thermoscellables; à l'inverse, les performances offertes par les sachets en polyéthylène en matière de conservation des semences de piment sont supérieures à celles offertes par les sachets en papier: cette supériorité proviendrait du fait que les sachets en polyéthylène, facilement disponibles et bon marché, sont en plus imperméables à l'humidité lorsqu'ils sont bien scellés à la chaleur, alors que les sachets en papier sont plus perméables à l'air et à l'humidité ambiante, donc ne se prêtent qu'à une conservation de semences pendant une durée de temps relativement plus courte (Grabe & Isely, 1969; Town, 1973; Oladiran & Kortse, 2002).

Mais cette étude montre que cette assertion n'est pas toujours vérifiée, étant donné que les semences de piment préparées à partir des cultivars Safi, Thaïlande et Local et conditionnées dans des sachets en polyéthylène ne se sont pas conservées aussi longtemps que celles conditionnées dans les sachets en papier. Ces observations coïncident avec celles faites par d'autres auteurs (Anonyme, 1994) qui donnaient des avertissements que plusieurs types de sachets en polyéthylène ne sont pas imperméables à l'humidité. Thompson (1979) rapporte que la température élevée, couplée à la faible quantité d'eau produite au cours de la respiration, sont susceptibles d'élever la température ambiante autour d'un lot de semences, et par voie de conséquence, d'affecter de façon significative leur viabilité. En effet, la réduction du taux de germination des semences peut résulter d'une invasion de microorganismes (champignons) au cours de la conservation, phénomène déjà rapporté par Dorworth et Christensen (1968). Au cours de cette étude, des développements fongiques responsables du changement de couleur sont observés chez certaines semences de piment (Safi et Big sun) conditionnées dans des sachets en polyéthylène. Comme le polyéthylène est relativement imperméable à l'eau, la condensation de l'humidité et de la température telle que décrite par Thompson (1979) pourrait par conséquent être à l'origine des infections fongiques observées, accompagnée de la rapide perte concomitante de la viabilité, comparée à un matériel de

conditionnement de semences plus poreux tel le sachet en papier, qui ne peut permettre ce type de condensation des facteurs micro-climatiques.

Les taux croissants de germination observés immédiatement après la préparation des semences (variétés Thaïlande et Local) pourrait être attribués à la présence de certaines semences qui sont légèrement ou partiellement dormantes, et qui par conséquent germent après un temps relativement long. Ce phénomène avait déjà été rapporté par d'autres auteurs (Ellis et *al.*, 1985; Idemir et *al.*, 2005; Bhanuprakash et *al.*, 2010). Une telle dormance partielle est levée avec le temps de conservation, rendant ainsi ces semences prêtes à la germination lorsqu'elles sont placées dans des conditions favorables. En effet, la germination des semences de piment seraient soumises à un contrôle hormonal, comme d'ailleurs rapporté par d'autres auteurs (Ellis et *al.*, 1985; Villiers, 1975; Demir & Ellis, 1992).

Randle et Honma (1981) rapportent aussi que les semences de piment disposeraient des capacités de briser l'activité inhibitrice sous des conditions de conservation à la température ambiante élevée et sèche, les rendant ainsi prêtes à la germination. Par ailleurs, l'acide gibbérellique (GA) est reconnu avoir la propriété d'accélérer la germination des semences de piment (Sosa-Coronel & Motes, 1982; Watkins & Cantliffe, 1983; Carter & Stevens, 1998).

L'évolution progressive de facteurs de développement (hauteur de la plantule, nombre, longueur et largeur des feuilles) des plantules de piment, après 2 à 3 mois de conservation dans différents matériels de conditionnement des semences, suggère que les semences de piment devraient poursuivre leur maturation à l'intérieur du fruit mûr après la récolte de ce dernier en champ, en vue de parachever la maturation physiologique des semences d'une part, et de favoriser une germination ultérieure rapide des semences et un développement harmonieux des plantules d'autre part. Cette pratique agronomique avait déjà été rapportée par d'autres auteurs (Sundstrom & Edwards, 1989; Rivas et *al.*, 1984; Demir, 2002). A l'inverse, lorsque le temps de maturation des semences n'est pas parachevé à l'intérieur du fruit, les plantules issues de ces semences ont tendance à avoir une vitesse de croissance fortement ralentie en pépinière. Ce comportement avait déjà été rapporté par d'autres auteurs (Flemion, 1934; Martinez & Aljaro, 1987).

Flemion et Waterburg (1945) rapportent qu'un traitement au froid (stratification) des semences avant de les soumettre à la germination peut résoudre ce problème de retard de croissance. Des changements de doses d'hormones (inhibiteurs et promoteurs de la croissance) en faveur des promoteurs de la croissance ont été rapportés comme étant

responsables de la perte de la dormance embryonnaire après le traitement de ces semences au froid (Khah & Passam, 1992; Demir & Okcu, 2004; Smith & Cobb, 1992).

Watkins et Cantliffe (1983) montrent que l'acide gibbéréllique stimule le développement des plantules chez le piment. Il n'est donc pas impossible que le développement harmonieux des plantules de piment observé au cours de cette expérience après la conservation dans différents matériels de conditionnement des semences, soit imputable à l'évolution du niveau des promoteurs de la croissance ou à la réduction du niveau des inhibiteurs de croissance au cours de cette conservation.

On peut conclure que les semences de piment se conservent mieux dans des sachets en aluminium, et moins dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène. Lorsque les sachets en aluminium ne sont pas disponibles, on peut faire recours aux boîtes en verre ou en plastique. Les sachets en papier ou en polyéthylène ne doivent être sollicités que pour une conservation pendant un temps relativement court (ne dépassant pas 3 mois). L'utilisation des semences issues des fruits fraîchement récoltés est à éviter, si un taux élevé de germination des semences et un développement harmonieux des plantules doivent être garantis; des stocks de semences de piment conservés depuis plus de 4 mois ne devraient pas être choisis pour la mise en place d'une pépinière, car le taux de germination ainsi que le développement des plantules issues de ces semences sont médiocres.

IV.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS

Les traitements à l'urée ont induit une stimulation de croissance des plants de piment. L'urée seule favorise donc le développement des organes végétatifs des plants (tiges et feuilles), au détriment des organes reproductifs (fruits), qui sont les organes économiquement importants de ce légume-fruit (Expérience 1). Ainsi, l'action stimulatrice de l'élément N pour la production des fruits de piment ne s'exerce qu'en présence du phosphore P et de la potasse K. D'autres auteurs avaient déjà tiré des conclusions similaires (Obiagwu & Odiaka, 1995; Olasantan, 1994). Les trois éléments majeurs N, P, et K réunis sont particulièrement importants pour l'induction des organes aussi bien végétatif que reproductif des plants de piment, étant donné que les rendements en fruits les plus élevés sont obtenus lors de l'utilisation de l'engrais composé NPK 19-4-16. Ces observations sont en accord avec les travaux de Baghoun *et al.* (2001) et de Guohua *et al.* (2001).

Le fait que le traitement à l'engrais organique (T8) ait eu un rendement en fruits (7 218 kg/ha) plus élevé que de nombreux traitements aux engrais minéraux, tels T1 (3 273

kg/ha), T2 (5 320 kg/ha), T3 (6 037 kg/ha) et T5 (4 230 kg/ha), avec un rapport bénéfice-coût ($r = 4$) suffisamment élevé peut s'expliquer par l'assertion que la fumure organique est riche en P (Defoer *et al.*, 2000) et moins cher sur le marché camerounais; en plus, elle est connue comme étant une ressource efficace pour le maintien de la fertilité, qui apporte au sol une gamme variée de macro- et micro-éléments (Pulgar *et al.*, 2000). Les apports en fumure organique ne rendent pas toujours immédiatement disponibles et facilement accessibles les éléments nutritifs qu'ils contiennent pour la plante, car ils doivent dans un premier temps être minéralisés par la microflore et la microfaune telluriques avant de libérer ces éléments nutritifs; ce qui n'est pas le cas avec la fumure minérale, prête à l'utilisation immédiatement après épandage (Aliyu, 2000; Kaya *et al.*, 2001). La minéralisation étant un phénomène progressif, des effets résiduels cumulatifs pourraient se manifester en faveur de l'amélioration de la fertilité du sol, donc de l'augmentation des rendements en fruits au cours des cycles de culture successifs (Kaho *et al.*, 2011). Par ailleurs, les rendements élevés en fruits des traitements T4 (7522 kg/ha) et T8 (7218 kg/ha) ayant reçu P, d'une part, et le rapport bénéfice-coût du témoin T9 ($r = 2$) qui est meilleur que ceux des traitements T1 ($r = 1$) et T5 ($r = 1,3$) n'ayant pas reçu P, d'autre part, suggèrent que P est un élément indispensable, dont le plant de piment a besoin pour accroître sa capacité de produire des fruits.

Aussi, le fait que le traitement T13 (4 x 350 kg/ha NPK) ait par ailleurs généré le rendement le plus élevé (Expérience 2) peut s'expliquer par la structure même de la plante, car le piment généralement a une croissance végétative de type indéterminée et un système racinaire superficiel et peu pivotant; et tant qu'il trouve dans la zone racinaire un bon régime hydrique et des éléments nutritifs nécessaires et en quantité suffisante, il continue de fleurir et de fructifier, donc de donner des rendements de plus en plus élevés (Guohua *et al.*, 2001; Obiagwu & Odiaka, 1995).

Compte-tenu du fait que les rendements en fruits des traitements T12 et T13 aient été proches et non significativement différents (9 248 et 13 162 kg/ha respectivement), ces résultats suggèrent qu'au cours de leurs phases de croissance et de développement, les plants de piment ont besoin de 3 à 4 apports de NPK pour maximiser leur production en fruits.

Par ailleurs, étant donné que le traitement T17 (4 x 350 kg/ha NPK, en dispersion régulière sous la frondaison) ait donné le rendement le plus élevé (Expérience 3), et que ce résultat (12 712 kg/ha) ne soit pas significativement différent de ceux obtenus en T16 (4 x 350 kg/ha NPK en deux bandes à gauche et à droite de la ligne des plants, avec 7 862 kg/ha) et T18 (4 x 350 kg/ha NPK en couronne autour du plant, avec 9 270 kg/ha), il peut s'expliquer

par le fait que les différents modes de répartition spatiale des engrais minéraux sous la masse foliaire mettent différemment les éléments fertilisants à proximité de la zone racinaire (Defoer *et al.*, 2000) d'où ils sont facilement absorbés. Le phosphore n'étant pas un élément fertilisant très mobile dans le sol (Carter et Murwira, 1995) et ne pouvant pas être facilement perdu par lessivage, l'épandage d'engrais minéraux contenant P devrait être prioritairement faite par dispersion régulière sous la masse foliaire (T17), surtout lorsqu'il s'agit d'une plante à cycle court et à système racinaire peu développé comme le piment. Le placement en deux points -à gauche et à droite- du plant de piment est moins avantageux par rapport aux trois précédents modes d'épandage, car il met difficilement les éléments nutritifs à portée des racines pour être absorbés.

Etant donné qu'au niveau du traitement T19 (4 x 100 kg/ha de fiente, épandage en dispersion régulière), le rendement en fruits (5 628 kg/ha) ait été significativement plus élevé que celui produit par le témoin T9 (4 265 kg/ha) et non significativement différent de ceux produits par les traitements T15 (6 667 kg/ha), T16 (7 862 kg/ha) et T18 (9 270 kg/ha), ces résultats cadrent avec les principes de l'agriculture durable dont les produits, dits biologiques, ont une valeur marchande plus élevée sur le marché international comparativement aux produits issus de l'agriculture conventionnelle.

Malgré le fait que les traitements T7, T13 et T17 (4 x NPK) aient généré les rendements en fruits en moyenne supérieurs à 13 t/ha pour toutes les trois expériences, puis les revenus et les marges bénéficiaires les plus élevés, ainsi que des rapports bénéfice-coût variant entre 5 et 6, leur application reste encore problématique en raison des coûts des engrais minéraux (18 000 FCFA/sac de 50 kg) et autres intrants agricoles (pesticides, outils agricoles, etc...) qui sont nettement au-dessus du pouvoir d'achat de bon nombre de petits agriculteurs au Cameroun. La subvention potentielle de ces intrants agricoles par les pouvoirs publics augmenterait de façon significative les marges bénéficiaires des entrepreneurs ruraux, et par conséquent leur pouvoir d'achat et leur niveau de vie. Des résultats similaires avaient déjà été rapportés par d'autres auteurs (Echezona *et al.*, 2011; Njonga, 2000).

CONCLUSION

CONCLUSION

Il existe une grande variabilité des caractères morphologiques chez les différentes accessions de piments. Des analyses multivariées faites, on peut retenir que l'analyse en composantes principales (ACP) permet de choisir 8 des 16 caractères quantitatifs considérés plus représentatifs, permettant de mieux décrire les accessions de piments. Aussi, l'analyse de la variance (ANOVA) faite sur les variables quantitatives les plus représentatives montre une grande variabilité morphologique d'une accession à l'autre. L'analyse des coefficients de corrélation montre qu'il existe une corrélation positive et hautement significative entre certains caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final. L'analyse factorielle des composantes multiples (AFCM) permet de choisir 5 des 11 caractères qualitatifs les plus représentatifs, permettant de mieux décrire les accessions de la collection regroupées en 4 classes (clusters) morphologiquement différentes. La classification ascendante hiérarchique permet de regrouper les 41 accessions de la collection en 4 classes morphologiquement différentes, en précisant la manière dont les accessions sont liées entre elles. La grande variabilité observée au sein des différentes accessions de piments au cours de cette expérience ouvre de nouvelles perspectives aux programmes d'amélioration génétique, en mettant à la disposition des sélectionneurs un pool de gènes très diversifié, en vue de produire des hybrides ayant un haut potentiel de rendement en fruits commercialisables, adaptés aux différentes zones agro-écologiques du Cameroun et répondant à la demande du marché local, sous-régional et international.

Aussi, le piment est l'une des cultures les plus parasitées du jardin horticole. Elle est victime de nombreux bio-agresseurs (agents pathogènes et ravageurs) sur les parties aériennes et souterraines de la plante, qui sont responsables de la baisse de l'ordre de 40 % à 50 % des rendements. Les résultats obtenus montrent que les différents traitements chimiques influencent beaucoup la sensibilité des différentes variétés de piment aux attaques des maladies virales, et les traitements insecticides (traitement A), et insecticide + fongicide (traitement C) donnent les meilleurs résultats. Quant au contrôle de la fusariose, maladie fongique qui provoque un flétrissement caractéristique des feuilles et qui culmine en un dépérissement de la plante, les traitements fongiques et insecticides + fongicides donnent les résultats les plus intéressants. Par ailleurs, les traitements chimiques appliqués au cours de cette expérience ont un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur la réduction de la population de mouches de fruits, avec des rendements en fruits commercialisables

appréciables. L'action des traitements chimiques consisterait en la destruction, la répulsion ou tout au moins la réduction de la population de ces ravageurs, en vue de préserver les fruits des dommages/blessures qui leur sont causés. Enfin, les traitements chimiques utilisés au cours de cette expérience ont un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur les paramètres du rendement (le nombre et le poids moyen des fruits sains récoltés au cours du cycle reproductif des plants de piment). En effet, le nombre et le poids de fruits sains récoltés sont considérablement élevés dans les parcelles ayant reçu ces différents traitements chimiques, dans l'ordre décroissant: insecticide + fongicide (traitement C), insecticide (traitement A), fongicide (traitement B), et finalement, le témoin n'ayant reçu aucun traitement chimique (traitement D). Ces résultats laissent entrevoir que les solanacées sont des plantes hautement parasitées dans les exploitations horticoles, et l'insuffisance, ou pire encore, l'absence des traitements chimiques appropriés conduisent à des pertes considérables ou à l'annulation des rendements en fruits commercialisables.

Par ailleurs, une fois extraites des fruits, les semences de piment perdent rapidement leur pouvoir germinatif. En raison du rôle considérable que joue cette plante à usage multiple, il est important qu'une attention particulière soit accordée à leur conservation, en vue d'assurer la régénération végétale d'une campagne agricole à une autre, et de constituer un pool de gènes variés pour l'amélioration future de cette culture par les généticiens. Ces expériences montrent que le taux de germination des semences de piment est élevé immédiatement après la préparation. Mais, une fois conservées dans les différents matériels de conditionnement, la perte de la viabilité est plus accélérée dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène pour toutes les variétés. Le maintien de la viabilité est amélioré lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en aluminium. Les boîtes en verre et les boîtes en plastique occupent des positions intermédiaires, entre les deux groupes cités ci-dessus. Toutefois, les semences de piment fraîchement préparées possèderaient un degré de dormance, laquelle est spontanément levée au cours de la période de conservation. Par ailleurs, des différences significatives sont observées au niveau des paramètres du développement végétatif des plantules de piment (hauteur de la plante, nombre, longueur et largeur des feuilles). L'évolution progressive de ces facteurs, 2 à 3 mois après la conservation des semences dans différents matériels de conditionnement, suggère que les fruits mûrs de piment récoltés devraient être conservés pendant un certain temps (5 à 10 jours) en vue de parachever la maturation physiologique des semences avant l'extraction. Cette pratique agronomique contribuerait à un taux de germination élevé et un développement harmonieux

des plantules de piment. Des stocks de semences de piment conservés depuis au moins 4 mois ne devraient pas être choisis pour la mise en place d'une pépinière économiquement rentable, car le taux de germination ainsi que le développement des plantules issues de ces semences ont des performances médiocres.

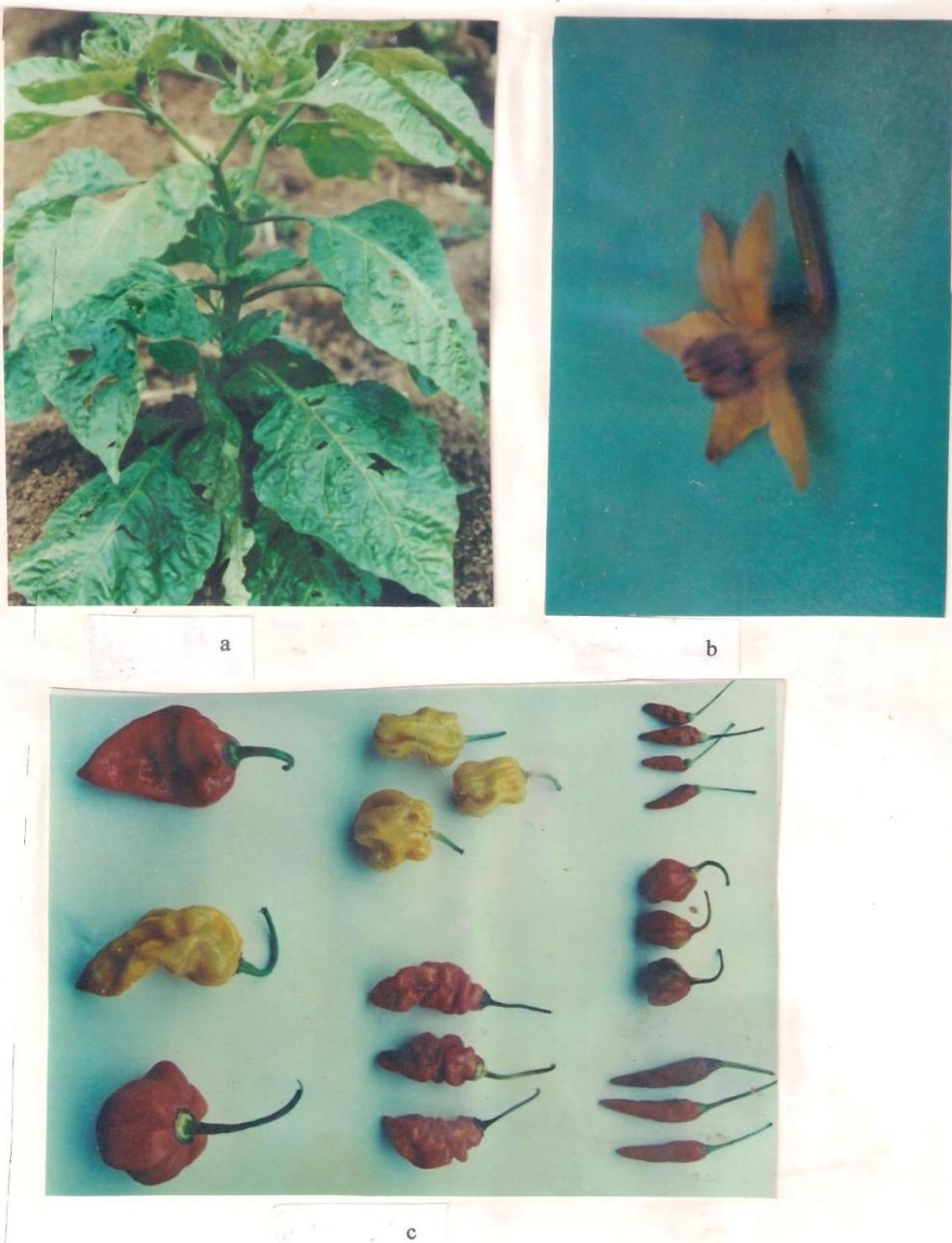
Aussi, la production en Afrique est habituellement mise en œuvre dans de petites exploitations commerciales, sur des parcelles variant de 0,2 à 1,2 ha. La plus grande partie de ces petites superficies est cependant cultivée de façon extensive (2-3 t/ha), dans un système cultural à faibles intrants. Autour de cette filière horticole en pleine expansion au Cameroun, l'augmentation de la production est envisageable, soit par l'accroissement des superficies cultivées, soit en densifiant la production sur des superficies réduites, par des techniques de fertilisation appropriées. Les résultats obtenus montrent que l'engrais composé NPK (19-4-16) donne les rendements les plus élevés en fruits commercialisables. Après la formulation, NPK (19-4-16) appliqué 4 fois au cours des cycles végétatif et reproductif des plants à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation donne les résultats les plus intéressants. Enfin, NPK (19-4-16) appliqué en dispersion régulière sous la frondaison est la méthode d'application à vulgariser auprès des exploitants agricoles impliqués dans cette filière horticole, car elle place les éléments fertilisants -surtout P, peu mobile dans le sol- à proximité de la zone d'absorption racinaire. Elle est suivie par les méthodes d'application en couronne, ou en bandes de part et d'autre de la ligne de plantation. Toutefois, l'application de la fumure organique en dispersion régulière autour des plants à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation n'augmente pas de façon significative ($P = 0,05$) les rendements en fruits, mais tout au moins, procure à l'exploitant des produits agricoles dits «biologiques» ou plus simplement «bio» ayant une plus grande valeur marchande, car ils jouent un rôle important sur le plan médico-diététique. Avec des rendements obtenus de plus de 13 t/ha qui génèrent des revenus bruts supérieurs à 13 000 000 FCFA/ha, et des rapports bénéfice-coût élevés variant entre 5 et 6, la culture du piment peut donc être considérée comme une opportunité rentable pour les horticulteurs camerounais, capable d'augmenter de façon significative les marges bénéficiaires (10 000 000 à 12 000 000 FCFA/ha) de ces entrepreneurs ruraux, et par conséquent d'améliorer leur pouvoir d'achat et leur niveau de vie.

En perspective, ces travaux expérimentaux ouvrent la voie à plusieurs axes de recherche, parmi lesquels:

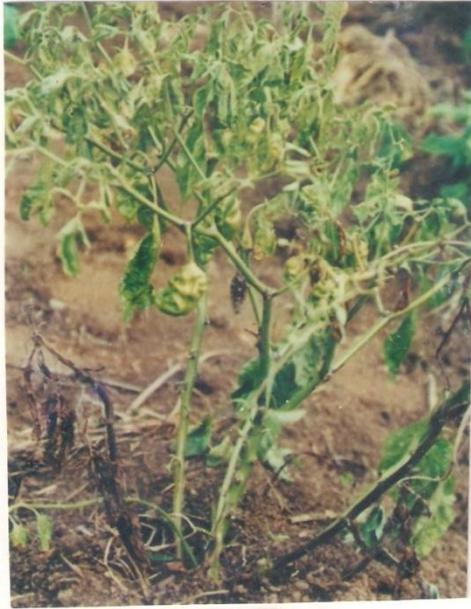
- La caractérisation post-récolte (qualités physico-chimiques et nutritionnelles) des fruits de piments issus de la collection mise en place dans le cadre de ces travaux de recherche, afin de faciliter le choix des différents utilisateurs;
- L'influence de la fertilisation, et des traitements chimiques contre les maladies et ravageurs du piment, sur les propriétés agronomiques et post-récoltes des fruits produits dans différentes zones agro-écologiques du Cameroun en vue d'élargir la portée des résultats obtenus au cours de ces travaux expérimentaux obtenus en station de recherche;
- L'influence de la conservation à différents degrés de froid des semences de piment conservées dans différents matériels de conditionnement, en vue de prolonger la durée de la viabilité au-delà de 6 mois et par voie de conséquence, de réduire les pertes lors de la conservation après la préparation des semences;
- La conception et la fabrication à grande échelle des pesticides naturels contre les maladies et ravageurs du piment, qui sont à la fois économiques et moins toxiques pour la plante, le consommateur et l'environnement.

ANNEXES

Annexe 1. Présentation des organes de la croissance végétative: a = tige et feuilles, et du développement reproductif: b = inflorescence; c = fruits du piment.



Annexe 2. Quelques maladies du piment: fusariose (a = plant flétri; b = plant mort) et virose (c), et ravageurs: *Ceratitis cosyra* (d1) et *Bactrocera invadens* (d2).



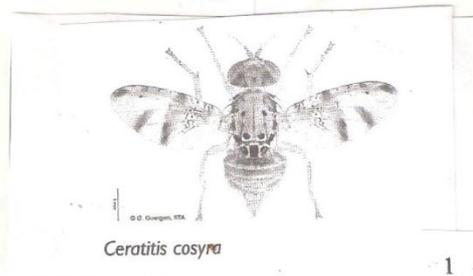
a



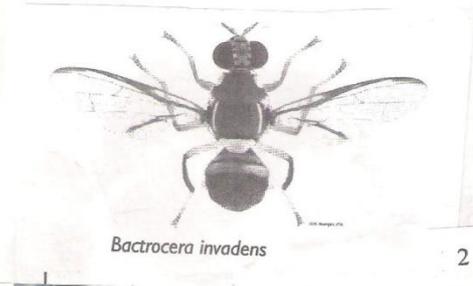
b



c

*Ceratitis cosyra*

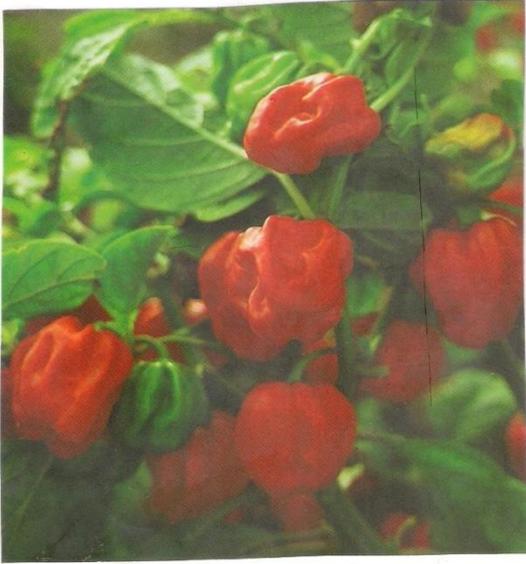
1

*Bactrocera invadens*

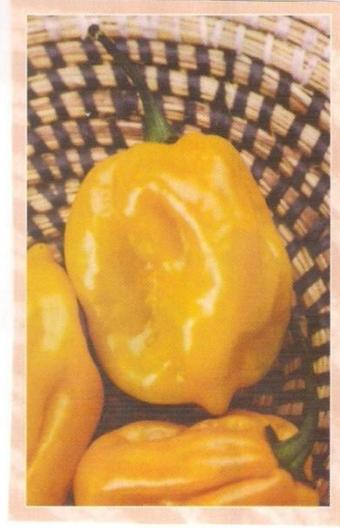
2

d

Annexe 3. Variétés de piment utilisées comme matériel végétal au cours de l'expérience
(a = Safi; b = Big sun; c = Thaïlande; d = Local).



a



b



c



d

REFERENCES

REFERENCES

- Aelterman G. *Fertilisation (partie 1)*. Département des Sciences du Sol, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Centre Universitaire de Dschang, Cameroun. 137 p. (1981).
- Aguiar L.A. *Effect of copper formulations on resident Xanthomonas campestris pv. vesicatoria populations on sweet pepper leaf surfaces*. Horticultura brasileira 21 (1): 44-50. (2003).
- Aliyu L. *Effect of organic and mineral fertilizer on growth, yield and composition of pepper (Capsicum annum L.)*. Biological Agriculture and horticulture 18 (1): 29-36. (2000).
- Aliyu L. Ahmed M.K. & Ado S.G. Relationships between some characteristics in chilli pepper (*Capsicum frutescens*). *Capsicum Newsletter* 10: 47-48. (1991).
- Aliyu L., Ahmed M.K. & Magaji M.D. *Correlation and multiple regression analysis between morphological characters and components of yield in pepper (Capsicum annum L.)*. Crop Research 19(2): 318-323. (2000).
- Anonyme. *Integrated Pest Control, III*. Rome. FAO, United Nations. 129 p. (1966a).
- Anonyme. *International rules for seed testing*. Proceedings of the International Seed Testing Association (ISTA) 31: pp.1. (1966b).
- Anonyme. *Conférence des Nations Unies sur l'Environnement Humain*. Stockholm, Suède. 84 p. (1972).
- Anonyme. *Cereal Seed Technology: A manual of cereal seed production, quality control, and distribution*. FAO Agricultural Development Paper 98. 238 p. (1975).
- Anonyme. *Agriculture écologique et développement agricole*. CTA, Série Tropical Agroecology 2: 134 p. (1990).
- Anonyme. *Production de fruits et légumes frais dans les pays ACP pour l'exportation vers les pays de la CEE*. CTA, Arnhem, Pays-Bas. 298 p. (1991).
- Anonyme. *Conditionnement: Manuel de Technologies du Cycle Alimentaire; Manuel de Référence 7*, New York, USA. 52 p. (1993).
- Anonyme. *Genebank Standard*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy. International Board for Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. (1994).
- Anonyme. *Descriptors for Capsicum (Capsicum spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Taipei, Taiwan, and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 47 p. (1995).

- Anonyme. *Fabrication et utilisation du compost*. CTA, Série Agrodok 8. 36 p. (1997).
- Anonyme. *La gestion des sols par les populations locales: Expériences et réussites en Afrique sub-saharienne*. CTA, Bamako, Mali. 222 p. (1998).
- Anonyme. *Programme prioritaire de promotion des PME: Elaboration d'une nouvelle politique nationale de promotion des exportations au Cameroun*. PDEA, Projet N° CMR/92/007. 129 p. (2000).
- Anonyme. *Commercialisation: le marketing pour les producteurs artisanaux*. CTA, Série Agrodok 26. 84 p. (2001).
- Anonyme. *Production de semences à petite échelle*. CTA, Agrodok 37. 106 p. (2004).
- Anonyme. *Comment lutter contre les mouches des mangues*. CTA, Collection guide Pratiques 14. 8 p. (2007a).
- Anonyme. *Les Pesticides: composition, utilisation et risques*. CTA, Série Agrodok 29. 124 p. (2007b).
- Anonyme. *La protection non chimique des cultures*. CTA, Série Agrodok 30. 98 p. (2007c).
- Anonyme. *Engrais: faire baisser les prix*. Spore 146. pp 102. (2010).
- Antonius G.F. *Residues and half-lives of Pyrethrins of field grown pepper and tomato*. Journal of Environmental Science and Health. Part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes 39 (4): 491-503. (2004).
- Arancon N.Q. *Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field*. Pedobiologia 49 (4): 297-306. (2005).
- Baghoun M. Sanchez E. & Ruiz J.M.,. *Metabolism and efficiency of phosphorus utilization during senescence in pepper plants: response to nitrogenous and potassium fertilization*. Journal of Plant Nutrition 24 (11): 1731-1743. (2001).
- Barton L.V. *Seed preservation and longevity*. New York: InterScience Publishers, Inc. 268 p. (1961).
- Bhanuprakash K., Yogeasha H.S. & Arun M.N. *Physiological and biochemical changes in relation to seed quality in ageing bell pepper (Capsicum annuum) seeds*. Indian Journal of Agricultural Science 80 (9): 777-780. (2004).
- Black L.L., Green S.K., Hartman G.L. & Poulos J.M. *Maladies du poivron: Un guide pratique*. Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan. AVRDC publication n° 93-400. 98 p. (1993).
- Bosland P. & Votara E.J. *Peppers: Vegetable and Spice capsicums*. NW State University, USA. CABI Publishing, Wallingford, UK. 216 p. (2001).

- Bousslama M., Mathlouthi M., Denden M., Ben Barek K. & Arfaoui Z. *Analyse de composantes de rendement chez le piment (Capsicum annum L.)*. Cahiers Agricultures 10: 199-203. (2001).
- Boutherin D. & Bron G. *Multiplication des plantes horticoles*. Edition Technique et Documentation- Lavoisier, France. 213 p. (1989).
- Bozokalfa M. & Esiyok D. *Evaluation of morphological and agronomic characterization of Turkish pepper accessions*. International Journal of Vegetable Science 17: 115-135. (2011).
- Brouwer J. & Powell J.M. *Soil aspects of nutrient cycling in a manure experiment in Niger*. In: Powell J.M., Fernandez-Rivera S., Williams T.O. & Renard C. (eds): Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-saharan Africa. Vol.II: ILCA Technical papers, Addis Ababa. Ethiopia. 208 p. (1993).
- Carter S.E. & Murwira H.K. *Spatial variability in soil fertility management and crop response in Mutoko communal area, Zimbabwe*. Ambio 24: 77-84. (1995).
- Carter A.K. & Stevens R. *Using etephon and GA3 to overcome thermo-inhibition in Jalapeno pepper seeds*. HortScience 33 (6): 1026-1027. (1998).
- Cerighelli R. *Cultures tropicales: I. Plantes vivrières*. Librairie J.B. Baillière & Fils. Paris, France. 346 p. (1955).
- Chalam G.V., Singh A. & Douglas J.E. *Seed Testing Manual*. Indian Council of Agricultural Research and USAID (United States Agency for International Development). New Delhi, India. 246 p. (1967).
- Champion J., Dugain F., Maignien R. & Dommergues Y. *Les sols de bananiers et leur amélioration en Guinée*. Fruits 13 (9-10): 415-462. (1958).
- Cruz A., Acosta D. & Negron F. *Evaluation of various pesticides for the control of aphids, mites, and nematodes in peppers*. The journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 68: 457- 465. (1984).
- Daniell G. & Falk A. *Economic comparison of Phytophthora root rot control methods*. Crop Protection 13: 331-336. (1994).
- Defoer T., Budelman A., Toulmin C. & Carter S.E. *Building common knowledge. Participatory learning and action research (Part 1)*. In: Defoer T., Budelman A. (eds). Managing soil fertility in the tropics. A Resource Guide for participatory learning and action research. Amsterdam, The Netherlands: Royal Tropical Institute. 208 p. (2000).

- Delvaux B. *Rôle des constituants des sols volcaniques et leurs propriétés de charge dans le fonctionnement de l'agro-système bananier au Cameroun*. Fruits 44(6): 309-319. (1989).
- Demir I. & Ellis R.H. *Development of pepper (Capsicum annuum) seed quality*. Annals of Applied Biology 121: 385-399. (1992).
- Demir I. & Okcu G. *Aerated hydration treatment for improved germination and seedling growth in aubergine (Solanum melongena) and pepper (Capsicum annuum L.)*. Annals of Applied Biology 144 (1): 121-123. (2004).
- Demir I. *The effect of controlled hydration treatment on germination and seedling emergence of unaged and aged pepper seeds during development*. Israël Journal of Plant Sciences 50: 251-257. (2002).
- Demolon A. *Principes d'Agronomie (Tome II): Croissance des végétaux cultivés*. DUNOD, 92 Rue Bonaparte, Paris VI, France. 590 p. (1968).
- Diana G.B., Marconi & Diana S. *Organic and mineral fertilization: effects on physical characteristics and boron dynamic in an agricultural soil*. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39 (9-10): 1332-1351. (2008).
- Dorworth E. & Christensen M. *Influence of moisture content, temperature and storage time upon changes in fungus flora germinability and fat acidity values of soybeans*. Phytopathology 58: 1457-1459. (1968).
- Dugain F. *Etude sur la fertilité des sols de la plaine bananière du Cameroun*. Fruits 15 (4): 153-170. (1960).
- Dupriez H. & De Leener P. *Jardins et Vergers d'Afrique*. Collection Terres et Vie, ENDA, Belgique. Editions l'Harmattan, Paris, France. 354 p. (1987).
- Dupriez H. & De Leener P. *Agriculture tropicale en milieu tropical africain*. Collection Terres et Vie, ENDA, Belgique. Editions l'Harmattan, Paris, France. 280 p. (1983).
- Echezona B.C., Baiyeri K.P. & Aindigh F.D. *Yield and economics of plantain production under six weed management systems in a derived savanna agro-ecosystem*. Tropicultura 29(1): 14-19. (2011).
- Ellis R.H., Hong T.D. & Roberts E.H. *Procedure for safe removal of dormancy from rice seeds*. Seed Science and Technology 11: 72-112. (1983).
- Ellis R.H., Hong T.D. & Roberts E.H. *Handbook on seed technology for genebanks*. International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) 1, Rome, Italy. 210 p. (1985).

- Espinosa P.I., Bielza P., Contreras J. & Lacasa A. *Field and laboratory selection of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) for resistance to insecticides*. Pest Management Science 58 (9): 920-927. (2002).
- Fenner M. *Germination in 32 East African weed species*. Weed Research 20: 135-138. (1980).
- Ferreira E., Selles Van S. & Gonzalez P. *Effet de différentes quantités d'eau appliqués à une culture de piment: III. Relations hydriques de la culture et absorption de N, P, et K*. Agricultura Tecnica (Santiago) 47: 304-307. (1987).
- Flemion F. & Waterbury E. *Further studies with dwarf seedlings of non-after-ripened peach seeds*. Contribution Boyce Thompson Institute 13: 415-422. (1945).
- Flemion F. *Dwarf seedlings from non-after-ripened embryos of peach, apple and hawthorn*. Contributions Boyce Thompson Institute 6: 205-209. (1934).
- Flors V., Miralles C., Cerezo M., Gonzalez-Bosch C. & Garcia P. *Effect of a novel chemical mixture on senescence processes and plant-fungus interaction in Solanaceae plants*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49 (5): 2569-2575. (2001).
- Forsyth C. & Brown N.A.C. *Germination of the dimorphic fruits of *Bidens pilosa* L.* New Phytologist 90: 151-164. (1982).
- Franck W.J. *International Seed Testing Association* 9/10: pp.1. (1929).
- Garzo E.I., Diaz B. & Fereres A. *Evaluation of Fipronil for controlling the transmission of Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV)*. Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 108 (1): 62-65. (2001).
- Grabe D.F. & Isely D. *Seed storage in moisture resistant packages*. Seed World 104: 2-5. (1969).
- Grassely D. *Le Thrips *Frankliniella occidentalis*: Les possibilités de lutte*. Phytoma, la défense des végétaux 483. pp. 61-64. (1996).
- Grubben G.J.H. & El Tahir I.M. *Capsicum annum* L. In: Grubben G.J.H. & Denton O.A. (eds). PROTA 2/ Vegetables/Légumes. PROTA, Wageningen, Pays-Bas. 19 p. (2004).
- Guohua Xu Wolf S. & Kafkafi U. *Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield*. Journal of Plant Nutrition 24 (7): 1099-1116. (2001).
- Guzhov Y. *Genetics and plant breeding for agriculture*. MIR Publishers, Moscow, USSR. 280 p. (1989).
- Hochel I. & Musil M. *Development of an indirect competitive ELISA of DDT*. Food and Agricultural Immunology 14 (4): 285-300. (2002).

- Idemir & Gokcu. *Effect of postharvest maturation treatment on germination and potential longevity of pepper (Capsicum annuum) seeds*. Indian Journal of Agricultural Science 75: 19-22. (2005).
- James B., Atcha-Ahowé C., Godonou I., Baimey H., Goergen H., Sikirou R. & Toko M. *Integrated pest management in vegetable production: A guide for extension workers in West Africa*. International Institute of Tropical Africa (IITA), Ibadan, Nigeria. 120 p. (2010).
- Jinadasa E. & Bolton. *Nitrogen and water balance studies in relation to farmyard manure and N-fertilizer applications to Sri lankan luvisols*. Tropical Agriculture 64: 49-54. (1987).
- Kaho F., Yemefack M, Feujio-Teguefouet P. & Tchantchouang J.C. *Effet combiné des feuilles de Tithonia diversifolia et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun*. Tropicultura 29(1): 39-45. (2011).
- Kaya C., Kirnak H. & Higgs D. *Effect of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl)*. Journal of Plant Nutrition 24 (9): 1457-1471. (2001).
- Khah E.M. & Passam H.C. *Sodium hypochlorite (NaOCl) concentration, temperature, and seed age influence germination of sweet pepper*. HortScience 27 (7): 821-823. (1992).
- Martinez R. & Aljaro U. *Evaluation agronomique des conditions osmotiques des semences de piment doux (Capsicum annuum L.). II. Effet sur l'émergence et le développement des plantules*. Agricultura Tecnica (Santiago) 47: 321-325. (1987).
- Meshram L. & Mukewar A.M. *Heterosis studies in chilli (Capsicum annuum L.)*. Scientia Horticulturae 28 (3): 219-225. (1986).
- Nahal I. *Principes d'agriculture durable*. ESTEM Editions Scientifiques, Techniques et Médicales 7, rue Jacquemont, 7501 Paris, France. 121p. (1998).
- Njonga B. *Piment: Gagner 7 500 000 FCFA en une campagne*. In: B. Njonga. (Ed.). La Voix du Paysan N° 102, CDDR, Cameroun. pp. 12-13. (2000).
- Obiagwu C.J. & Odiaka N.I. *Fertilizer schedule for yield of fresh fluted pumpkin (Telfairia occidentalis) grown in lower Benue river basin of Nigeria*. Indian Journal of Agricultural Sciences 65 (2): 98-101. (1995).
- Ogbalu O.K. *The effects of different traditional sources of nutrients on the infestation of pepper fruits by the pepper fruitfly (Atherigona orientalis Shiner), in Nigeria*. Journal of Agronomy and Crop Science 182 (1): 65-71. (1999).

- Oladiran J.A. & Kortse P.A. *Variations in germination and longevity of pepper (Capsicum annuum L.) seeds harvested at different stages of maturation*. Acta Agronomica Hungarica 50 (2): 157-162. (2002).
- Oladiran J.A. & Ogunbiade S.A. *Germination and seedling development from pepper (Capsicum annuum L.) seeds following storage in different packaging materials*. Seed Science and Technology 28: 413-419. (2000).
- Olasantan. *Fertilizer use in vegetable production in Nigeria*. Outlook in Agriculture 23: 213-222. (1994).
- Oliveira A., de Oliveira R., de Giordano S.A. & de Goedert L. *Nutrient uptake and response to fertilization of tomato inbred lines*. Horticultura Brasileira 27 (4): 498-504. (2009).
- Owen E.B. *The storage of seeds for maintenance of viability*. Bulletin 43. Farnham Royal, Bucks, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux. Pays-Bas. 19 p. (1957).
- Petkova V. & Todorova V. *Exocarp thickness variation in some red pepper cultivars for grinding*. Capsicum and Eggplant Newsletter 20: 55-57. (2001).
- Pulgar G., Villora G. & Moreno D.A. *Effect of Nitrogen and potassium on the ionic balance in Capsicum plants (Capsicum annuum L. cv. Lamuyo)*. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31 (11-14): 2321-2328. (2000).
- Purseglove J.W. *Tropical crops: Dicotyledons*. Longman, The Print House (Pte) Ltd, London, UK. 719 p. (1984).
- Randle W.M. & Honma S. *Dormancy in peppers*. Scientia Horticulturae 14: 19-25. (1981).
- Rivas I., Sundstrom F.J. & Edwards R.L. *Germination and crop development of hot pepper after seed priming*. HortScience 19: 279-281. (1984).
- Roberts E.H. *Viability of seeds*. Chapman and Hall. London, UK. 278 p. (1972).
- Ruiz J.M., Moreno D.A. & Villora G. *Nitrogen and phosphorus metabolism and yield of Capsicum plant (Capsicum annuum L. cv. Lamuyo) in response to increases in NK fertilization*. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31 (11-14): 2345-2357. (2000).
- Russo V.M. *Planting date, fertilizer rate, and harvest timing affect yield of Jalapeno and Banana peppers*. HortScience 31 (7): 1124-1125. (1996).
- Schippers R.R. *Légumes Africains Indigènes: Présentation des espèces cultivées*. Margraf Publishers GmbH, Scientific Books. D-97990 Weikersheim, Germany. 482 p. (2004).
- Sediyama M.A., Vidigal N., Santos S.M. & dos Salgado M.R. *Yield of pepper depending on the organic and mineral fertilization*. Horticultura Brasileira 27 (3): 294-299. (2009).

- Semal J. *Traité de Pathologie Végétale*. Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique. 621 p. (1989).
- Silva D.A.G. *Effects of chemical and biological products on bacterial spot, microbial flora and yield in bell pepper*. Horticultura Brasileira 34 (2): 134-140. (2006).
- Singh Y., Sharma M. & Sharma A. *Genetic variation, association of characters and their direct and indirect contributions for improvement in chilli peppers*. International Journal of Vegetable Science 15: 340-368. (2009).
- Smith P.T. & Cobb B.G. *Physiological and enzymatic characteristics of primed, re-dried, and germinated pepper seeds (Capsicum annuum L.)*. Seed Science and Technology 20: 503-513. (1992).
- Sood S. & Kumar N. *Morphological studies of bell pepper germplasm*. International Journal of Vegetable Science 17: 144-156. (2001).
- Sood S., Sood R., Sagar V. & Sharma K.C. *Genetic variation and association analysis for fruit yield, agronomic and quality characters in Bell pepper*. International Journal of Vegetable Science 15: 272-284. (2009).
- Sosa-Coronel J. & Motes J.E. *Effect of Gibberelic acid and seed rate on pepper seed germination in aerated water columns*. Journal of the American Society of Horticultural Science 107: 290-295. (1982).
- Sundstrom F.J. & Edwards R.L. *Pepper seed respiration, germination, and seedling development following seed priming*. HortScience 24 (2): 343-345. (1989).
- Tamfik M., Hamdan C. & Shuraiqi G. *Toxicity of certain insecticides to the green peach aphid*. Tropical Pest Management 35: 359-361. (1989).
- Thomson J.R. *An Introduction to Seed Technology*. Thomson Litho Ltd, East Kilbride, Scotland. 251 p. (1979).
- Town P.A. *Maintenance of cultivars and elite seed production. Recommendations for vegetable in Turkey*. Technical Report AGP/SF/TUR 13. United Nations Development Programme. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy. 275 p. (1973).
- Uzo J.O. *Hybrid vigour and gene action of two qualitative traits of flavour peppers in Nigeria*. Scientia Horticulturae 22(4): 321-326. (1984).
- Van den Bosch R., Messenger F.S. & Gutierrez A.P. *An introduction to biological control*. Plenum Press, New York, USA. 247 p. (1982).
- Vicente G. & Costa A. *Biological and chemical control of nematods in Capsicum annuum L.* The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 76: 171-176. 1992

- Villiers T.A. *Dormancy and the survival of plants*. The Institute of Biology. Studies in Biology N° 57. Edward Arnold (Publishers) Ltd. London, UK. 68 p. (1975).
- Watkins J.T. & Cantliffe D.J. *Hormonal control of pepper seed germination*. Horticultural Science 18: 342-343. (1983).
- Wellington P.S. *Handbook for seedling evaluation*. International Seed Testing Association. Norway. 138 p. (1969).
- Youdeowei A., Ezedinma F.O. C. & Onazi O. C. *Introduction to Tropical Agriculture*. Longman Group (FE) Ltd. Hong Kong, Japan. 344 p. (1988).
- Zewdie Y. & Zeven A.C. *Variation in yougoslavian hot pepper (Capsicum annuum L.) accessions*. Euphytica 97: 81-89. (1997).

**PUBLICATIONS ISSUES DE LA
THESE**

Liste des publications issues de la Thèse

1. Segnou, Amougou. Akoa, Youmbi E & Njoya J. *Variabilité des caractères morphologiques et analyse des composantes du rendement chez le piment (Capsicum annuum L.)*. Agronomie Africaine 24 (3): 183 -195. (2012_a).
2. Segnou, Amougou Akoa, Youmbi E & Njoya J. *Effect of chemical treatments on pests and diseases of pepper (Capsicum annuum L.; Solanaceae)*. Greener Journal of Agricultural Sciences 3 (1): 12-20. (2013).
3. Segnou, Amougou Akoa & Youmbi E. *Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (Capsicum annuum L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences*. Tropicultura 30 (1) : 15-23. (2012_b).
4. Segnou, Amougou Akoa, Youmbi E & Njoya J. *Effets de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits des piments (Capsicum annuum L. ; Solanaceae), en zone forestière de basse altitude au Cameroun*. Agronomie Africaine 24 (3) : 231-240. (2012_c).

VARIABILITE DES CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET ANALYSE DES COMPOSANTES DU RENDEMENT CHEZ LE PIMENT (*Capsicum annum* L.)

J. SEGNOU¹, A. AKOA², E. YOUNBI² et J. NJOYA¹

¹Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Recherche de Njombé, BP 13 Njombé, Cameroun. E-mail : segnoujean@yahoo.fr

²Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, BP 812 Yaoundé, Cameroun.

RESUME

Une étude sur la variabilité des caractères morphologiques et des composantes du rendement d'une collection de piments (*Capsicum annum* L.) est indispensable à un programme d'amélioration génétique. C'est dans ce cadre que 41 accessions de piments ont été testées suivant un bloc de Fisher à 3 répétitions, à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Njombé (Cameroun). Au cours du développement des plants, 27 caractères morphologiques ont été mesurés relativement aux caractères de développement végétatifs des plants, d'une part, et, d'autre part, à leurs organes reproducteurs. Les résultats ont révélé une grande variabilité entre les différents caractères du développement végétatif et reproductif d'une accession à l'autre. L'analyse des coefficients de corrélation montre qu'il existe une corrélation forte et positive entre certains caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final. La répartition des 41 accessions de la collection de piments suivant leurs affinités morphologiques a permis d'obtenir 4 classes différentes. Cette répartition offre aux généticiens l'opportunité de choisir des parents compatibles lors des croisements intra-spécifiques contrôlés, en vue de produire des hybrides vigoureux ayant un haut potentiel de rendement en fruits commercialisables.

Mots clés : *Capsicum annum* L., accessions, morphologie, corrélation, affinités.

ABSTRACT

VARIABILITY OF MORPHOLOGICAL TRAITS AND YIELD COMPONENT IN PEPPER (*capsicum annum* L.)

A study on the variability of morphological traits and yield component of hot pepper (Capsicum annum L.) germplasm is a prerequisite in a crop improvement program. Thus, 41 accessions of pepper were tested in a randomized-complete block (RCB) design, with 3 replications at the Njombe Multipurpose Research Station Institute of Agricultural Research for Development, in Cameroon. During plant growth, 27 morphological traits relative to the vegetative development characters of the plant, or to their reproductive organs were recorded. The results show great variabilities among the vegetative and reproductive traits from one accession to the other. The coefficients of correlation analysis show that the different quantitative morphological traits were correlated to fruit yield. However, there appear to be a strong positive association between certain morphological traits, yield components and the final yield. The clustering of the 41 accessions of pepper collection, based on the similarity of morphological traits lead to the formation of 4 different morphological classes. Such a clustering gives plant breeders an opportunity to choose compatible parents during controlled intra-specific crosses in order to produce vigorous hybrids with a high marketable fruit yield potential.

Key words : *Capsicum annum* L., accessions, morphology, correlation, similarity.

INTRODUCTION

Le piment (*Capsicum annum* L.) est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Solanacées. Jadis cultivé comme plante de jardin de case à usage essentiellement domestique, le piment est actuellement devenu une culture de grandes exploitations dont le fruit frais ou séché est de plus en plus sollicité aussi bien pour le marché intérieur camerounais, stimulé par l'augmentation de la demande urbaine, que par l'émergence des échanges intra-régionaux et internationaux (Temple, 2001). Aujourd'hui, le piment occupe une bonne place parmi les produits de diversification des exportations agricoles au Cameroun (PDEA, 2000) ; il constitue ainsi une source importante de devises et améliore, par conséquent, le pouvoir d'achat et le niveau de vie des producteurs. A cause de sa saveur plus ou moins piquante qui traduit la teneur du fruit en un alcaloïde, la capsaïcine, le piment est utilisé comme condiment et/ou épice pour relever le goût des aliments et stimuler l'appétit.

La culture du piment s'adapte à la presque totalité des zones agro-écologiques du Cameroun, comprises de 0 m (niveau de la mer) à plus de 2 000 m d'altitude, et des zones les plus arides jusqu'aux plus humides. Sa présence dans des zones agricoles relativement différentes a engendré une diversité morphologique considérable qui offre de vastes perspectives aux sélectionneurs (Paran *et al.*, 1998). Pour le genre *Capsicum*, de remarquables opportunités existent donc qui permettraient d'améliorer leurs caractéristiques morphologiques, gustatives et par extension commerciales, au profit des consommateurs et des producteurs. Les premiers obtiendraient des produits de meilleure qualité et les seconds pourraient au minimum doubler leurs rendements, au profit du marché de consommation, et les bénéfices seraient ainsi partagés.

Malheureusement, il n'existe pas actuellement de données de base permettant d'avoir des informations sur la productivité des différentes accessions disséminées sur l'ensemble des exploitations agricoles. D'où l'urgente nécessité de constituer un germoplasme en vue de maîtriser leurs performances agronomiques, qui pourront être utilisées ultérieurement dans un programme d'amélioration génétique.

La présente étude a donc pour objectifs de déterminer la variation des caractères morphologiques existant au sein des différentes accessions de piments dans les exploitations paysannes, d'analyser les coefficients de corrélation entre les différents caractères quantitatifs, et de répartir les différentes accessions selon leurs affinités morphologiques. Elle donnerait aux généticiens l'occasion de choisir des parents compatibles lors des croisements intra-spécifiques contrôlés en vue de produire des hybrides vigoureux ayant un haut potentiel de rendement en fruits commercialisables, et par conséquent, d'augmenter les revenus et le niveau de vie des producteurs.

MATERIEL ET METHODES

L'essai a été mis en place à l'IRAD, Station Polyvalente de Njombé. Cette Station de recherche est située sur l'axe routier N° 5 reliant Douala et Nkongsamba, respectivement à 75 km et à 60 km, au Cameroun (80 m d'altitude ; température annuelle moyenne : 27 °C ; pluviométrie annuelle moyenne : 2 600 mm ; sol volcanique fortement humifère).

CONSTITUTION DE LA COLLECTION ET PREPARATION DES PLANTS DE PIMENT

Quarante et une accessions de piments ont été collectées dans les différentes zones agro-écologiques du Cameroun. Les lieux de collecte étaient choisis en fonction de leur réputation à la culture du piment et de la disponibilité d'une gamme morphologique aussi diversifiée que possible. Les échantillons (fruits mûrs) collectés étaient étiquetés et conservés dans des seaux en plastique pendant 8 à 10 jrs au laboratoire. Ce processus avait pour objectif de parachever la maturation physiologique des graines, favorisant ainsi leur germination et la vigueur ultérieure des plantules. Les semences étaient extraites de ces fruits, rincées à l'eau de robinet, puis séchées à l'ombre pendant 4 à 5 jrs, jusqu'à un taux d'humidité de 10 - 12 % (ce test a été fait à l'aide d'un humidimètre de marque Dickey-John).

En pépinière, les semences étaient d'abord germées dans des caissettes en plastique et les plantules élevées jusqu'au stade 3 - 4 feuilles ; puis elles étaient transplantées dans des sachets en plastique perforés à la base, de

contenance 0,25 l (12 cm x 15 cm). L'arrosage était maintenu quotidiennement, et les plants de piment étaient prêts pour la mise en place effective de l'essai lorsqu'ils avaient 15-20 cm de hauteur.

MISE EN PLACE ET CONDUITE DE L'ESSAI

Les 41 accessions de la collection ont été plantées suivant un bloc de Fisher en 3 répétitions. Dans chaque répétition, la parcelle élémentaire était constituée de 4 lignes de 5 plants chacune, soit un total de 20 plants. Les lignes étaient distantes de 1 m l'une de l'autre et sur la ligne, les plants étaient à leur tour distants de 1 m (soit une densité de plantation de 10 000 plants/ha). La mise en place était faite à plat sur un terrain labouré mécaniquement. Deux semaines après la mise en place de l'essai, il a été apporté à chaque plant 25 g d'engrais azoté (urée à 46 % N), et 50 g plant⁻¹ d'engrais complexe NPK (20-10-10) à la floraison.

La fertilisation à l'engrais complexe NPK (20-10-10) a été maintenue mensuellement à la même dose tout au long du cycle reproductif des plants, soit 5 applications au total.

CHOIX DES CARACTERES A OBSERVER

Au cours du développement des plants, 27 caractères morphologiques étaient observés et/ou mesurés. Ils étaient relatifs, d'une part, au développement végétatif des plants de piment et, d'autre part, à leurs organes reproducteurs (Tableau 1). Les caractères du développement végétatif étaient observés après la nouaison des premiers fruits : à cette phase, les organes végétatifs sont au maximum de leur développement. Les caractères quantitatifs étaient mesurés en utilisant les unités du système international (U.S.I.) telles le gramme (g), le centimètre (cm), le jour (j), etc., tandis que les caractères qualitatifs étaient évalués suivant des critères subjectifs (IPGRI *et al.*, 1995).

Tableau 1 : Caractères morphologiques observés et méthodes d'observation.

Morphological traits observed and methods of observation.

A- Caractères du développement végétatif	
1-	Le port végétatif de la plante (PV) : 3 = prostré ; 5 = compact ; 7 = érigé.
2-	La hauteur de la plante (HP), en cm.
3-	Le type de croissance végétatif (TCV) : 1 = indéterminé ; 2 = déterminé.
4-	La forme des feuilles (FF) : 1 = deltoïde ; 2 = ovale ; 3 = lancéolée.
5-	La longueur de la feuille (LoF), en cm.
6-	La largeur de la feuille (LaF), en cm.
7-	La couleur de la feuille (CF) : 1 = vert-pâle ; 2 = verte ; 3 = vert-foncée.
8-	La circonférence de la tige (CT), en mm.
9-	La hauteur de la tige du sol au premier niveau de branchement (HTB), en cm.
10-	Le nombre de branches primaires (au premier point de branchement).
11-	La largeur de la canopée (LC), en cm.
B-Caractères des organes reproducteurs	
12-	L'intervalle plantation-floraison (IPF), en jours.
13-	Le nombre de fleurs par bourgeon floral (NFB).
14-	La position de l'inflorescence à l'anthèse (PIA) : 3 = pendante ; 5 = intermédiaire ; 7 = érigée.
15-	La couleur de la corolle (CC) : 1 = blanche ; 2 = jaunâtre ; 3 = jaune-verdâtre ; 4 = violacée ; 5 = autres
16-	La forme des fruits (FFr) : 1 = effilée ; 2 = presque arrondie ; 3 = triangulaire ; 4 = campanulée ; 5 = tassée ; 6 = autres.
17-	La pigmentation des fruits avant la maturation (PFAM) : 1 = verte ; 2 = jaune ; 3 = blanche ; 4 = rouge ; 5 = pourpre ; 6 = brune ; 7 = noire ; 8 = autres
18-	La pigmentation des fruits après la maturation (PFM) : 1 = verte ; 2 = jaune ; 3 = blanche ; 4 = rouge ; 5 = pourpre ; 6 = brune ; 7 = noire ; 8 = autres.
19-	La longueur du fruit (LFr), en cm.
20-	Le diamètre du fruit (DFr), en cm.
21-	L'aspect de la surface du fruit (SFr) : 1 = lisse ; 2 = semi-ridé ; 3 = ridé.
22-	Le nombre de fruits par plante (NFP).
23-	Le poids de fruits par plante (PFP), en g.
24-	Le nombre de graines par fruit (NGF).
25-	Le poids de 1 000 graines (PMG), en g.
26-	La couleur des graines (CG) : 1 = jaune-foncé ; 2 = brune ; 3 = noire ; 4 = autres.
27-	Le cycle de floraison (CF), en jours.

ANALYSES STATISTIQUES

On a procédé aux analyses statistiques multivariées (AMV), avec le logiciel d'analyse statistique SAS : cette méthode d'analyse permet de traiter des données provenant de nombreuses observations faites sur plusieurs variables et ayant un certain degré inhérent d'interdépendance entre elles, compte-tenu du fait que les données enregistrées réunissent de nombreuses variables de typologies variées, comme c'est le cas lors de cette expérience. Les méthodes d'analyse des multivariées utilisées étaient : l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle des Composantes Multiples (AFCM), et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

- L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode descriptive multidimensionnelle, qui permet d'analyser des tableaux de données quantitatives de n lignes et p colonnes dans lequel, les lignes représentent les individus (accessions) et les colonnes les variables (caractères). On a procédé par une réduction de la dimensionnalité des tableaux des données aux principaux facteurs d'interaction entre variables : dans le cas particulier de cette étude, seuls les caractères quantitatifs ayant une variance discriminatoire d'au moins 40 % étaient considérés comme représentatifs. Enfin, on a procédé à la représentation graphique des interactions afin de résumer de façon succincte l'essentiel de l'information contenue dans les données. Cette technique descriptive permet d'étudier les similarités et dissimilarités morphologiques qui existent entre les accessions afin de mieux les regrouper et mettre en évidence les dimensions organisant lesdites relations.

On a aussi procédé à une analyse de la variance (ANOVA) sur l'ensemble des caractères quantitatifs les plus représentatifs pour les 41 accessions de la collection, afin de déterminer les similarités et dissimilarités morphologiques existant entre les différentes accessions ; toutes fois que les différences étaient significatives, on a séparé les moyennes par le test de Student Newman Keuls.

- L'Analyse Factorielle des Composantes Multiples (AFCM) est une méthode statistique d'analyse des données qui permet d'analyser et de décrire graphiquement les données catégorielles présentées sous forme d'un tableau de contingence. Un tableau de contingence étant un tableau à deux dimensions constitué par le

croisement de deux variables qualitatives à catégories nominales (pigmentation des fruits avant la maturité, etc.) ou ordinale (forme des fruits, etc.). Dans le cas particulier de cette étude, seuls les caractères qualitatifs ayant une variance discriminatoire d'au moins 40 % étaient considérés comme représentatifs. L'AFCM est utilisée pour déterminer et hiérarchiser toutes les dépendances entre les lignes et les colonnes du tableau de contingence.

- La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est une méthode d'analyse qui permet de partitionner ou de repartitionner un ensemble d'individus (accessions) sur lesquels on dispose de certaines informations en classes ou catégories homogènes (clusters). Il s'agit en fait d'optimiser un critère dans le but de regrouper les individus dans des classes chacune la plus homogène possible, et entre elles les plus distinctes possible. Elle conduit à la constitution d'un arbre de classification (dendrogramme) montrant le passage des n individus au groupe total par une succession de regroupements.

RESULTATS

ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE (ACP)

Des 16 caractères quantitatifs mesurés au cours de cette expérience, 8 d'entre eux ont été considérés comme les plus représentatifs, permettant de mieux décrire les différentes accessions de la collection de piments. Ces caractères quantitatifs les plus représentatifs avaient une variance discriminatoire d'au moins 40 % (Tableau 2). La première composante a contribué pour 36,71 % de la variance, alors que la seconde composante a contribué pour 25,00 % de la variation seulement. Les positions relatives des différents caractères quantitatifs permettant de décrire les accessions sont représentées sur la figure 1. Les caractères quantitatifs les plus représentatifs sont les plus excentrés du point d'intersection des deux axes factoriels (HP, LoF, LaF, CT, LC, LFr, DFr, NGF). Les caractères les moins représentatifs, avec une variance discriminatoire inférieure à 40 %, sont regroupés autour du point d'intersection entre les deux axes factoriels (HTB, NBP, IPF, NFB, NFP, PFP, PMG, CF). Cette représentation graphique confirme les informations données par le tableau 2 ci-dessus mentionné.

Tableau 2 : Taux d'extraction des différents caractères quantitatifs utilisés pour le regroupement des 41 accessions de piments suivant leurs affinités morphologiques.

Extraction rates of the different quantitative characters used for the clustering of 41 pepper accessions following their morphological similarities.

Caractères quantitatifs	Extraction
<i>Hauteur de la plante</i>	0,470
<i>Longueur de la feuille</i>	0,631
<i>Largeur de la feuille</i>	0,703
<i>Circonférence de la tige</i>	0,600
Hauteur de la tige du sol au premier point de branchement	0,060
Nombre de branche primaires	0,249
<i>Largeur de la canopée</i>	0,660
Intervalle plantation-floraison	0,070
Nombre de fleurs par bourgeon	0,213
<i>Longueur du fruit</i>	0,647
<i>Diamètre du fruit</i>	0,496
Nombre de fruits par plante	0,146
Poids des fruits par plante	0,012
<i>Nombre de semences par fruit</i>	0,437
Poids de 1000 graines	0,017
Cycle de floraison	0,253

NB : Les caractères quantitatifs en italique sont les plus représentatifs / NB : Quantitative characters in italic are the most representative.

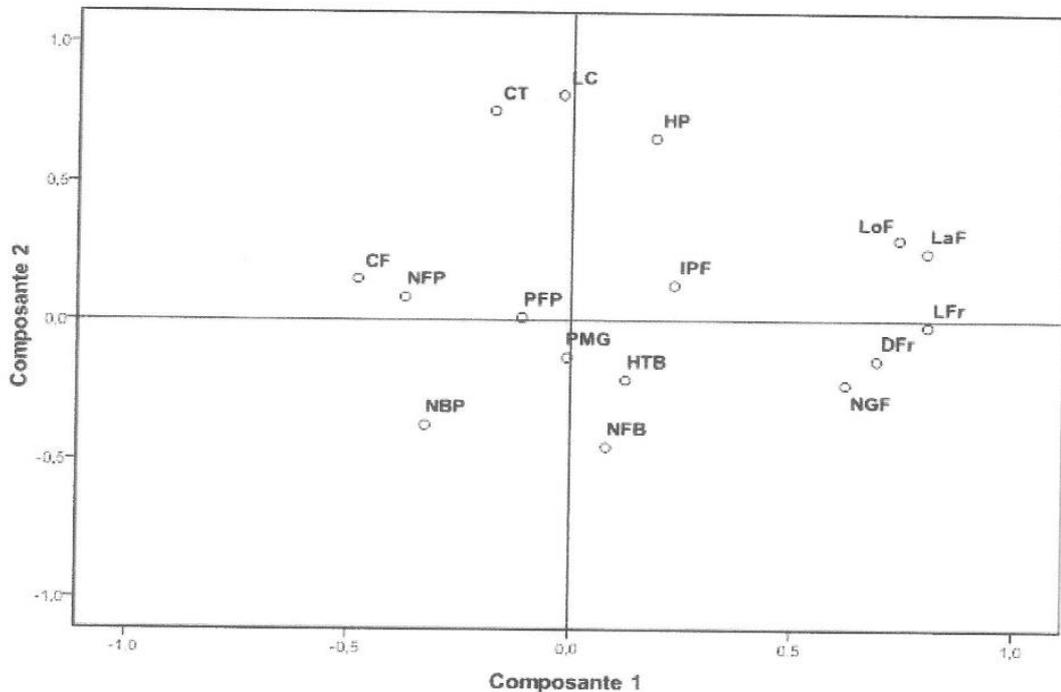


Figure 1 : Projection des caractères quantitatifs mesurés dans le plan formé par les deux premiers axes factoriels issus de l'ACP

Projection of the quantitative characters on the first and second principal components issued from PCA.

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES DES ACCESSIONS DE PIMENTS

Il existe une grande variabilité de la hauteur des plants de la collection. En effet, CPC04 et CPC13 occupent les positions extrêmes, avec des hauteurs de 120 et 40 cm respectivement (Tableau 3). La même variabilité est observée au niveau de la circonférence de la tige (CT), avec des dimensions variant entre 18 mm (CPC19) et 7,0 mm (CPC06) respectivement. La largeur de la canopée (LC) est l'un des caractères au sein desquels existe une plus grande variabilité, la plus grande largeur étant observée au niveau de l'accession CPC34 (150 cm), et la plus petite au niveau de l'accession CPC44 (82 cm) ; les autres accessions ont des positions intermédiaires. Les dimensions du fruit : la longueur (LFr) et le diamètre (DFr) sont aussi les caractères morphologiques quantitatifs les plus représentatifs qui ont montré une grande variabilité : en effet, la longueur du fruit a varié de 8,3 cm (CPC09) à 1,3 cm (CPC12), alors que le diamètre de cet organe reproductif a varié de 4,7 cm (CPC19) à 0,5 cm (CPC15). Le nombre de graines par fruit (NGF) a aussi été un caractère quantitatif qui a montré une grande variabilité pour toutes les accessions ; ce nombre a varié entre 80 graines par fruit (CPC42) et 5 graines par fruit (CPC11) : cette variabilité intéresse les firmes spécialisées dans la production et la commercialisation des semences, le nombre de graines par fruit étant le caractère quantitatif qui leur permet de maximiser leurs revenus. Enfin,

les dimensions de la feuille : la longueur (LoF) et la largeur (LaF) sont les deux caractères quantitatifs les plus représentatifs qui ont montré une grande variabilité pour toutes les accessions : en effet, la largeur de la feuille au sein des différentes accessions a varié de 11,3 cm (CPC10) à 4,6 cm (CPC27) d'une part, et la longueur de la feuille de 5,3 cm (CPC18) à 2,1 cm (CPC09).

ANALYSE DES COEFFICIENTS DE CORRÉLATION

L'analyse des coefficients de corrélation (Tableau 4) indique qu'il existe une corrélation positive et hautement significative ($P = 1\%$) entre la hauteur de la plante et la largeur de la feuille ($r = 0,335$), la longueur et la largeur de la feuille ($r = 0,766$), la circonférence de la tige et la largeur de la canopée ($r = 0,555$), le nombre et le poids de fruits par plante ($r = 0,647$), la longueur et le diamètre du fruit ($r = 0,432$), le diamètre du fruit et le nombre de semences par fruits ($r = 0,472$), et la longueur du fruit et le nombre de graines par fruit (0,406). Aussi, il existe une corrélation positive et significative ($P = 5\%$) entre la hauteur de la plante et la circonférence de la tige ($r = 0,349$), et entre la hauteur de la plante et la largeur de la canopée ($r = 0,383$). Ainsi donc, l'analyse des coefficients de corrélation a montré qu'il existe une corrélation forte et positive entre certains caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final.

Tableau 3 : Caractéristiques agronomiques des 41 accessions de la collection de piments.
Agronomic characteristics of 41 accessions of pepper collection.

Accession	HP (cm)	CT (mm)	LC (cm)	LFr (cm)	DFr (cm)	NGF	LoF	LaF
CPC44	60 _{dc}	8,0 _b	82 _g	4,9 _{abcdef}	2,9 _{defghi}	27 _{bcd}	4,9 _c	3,2 _{bc}
CPC11	110 _{ab}	12,0 _{ab}	130 _{abcdef}	1,4 _f	0,8 _{mn}	5 _d	5,3 _{bc}	2,2 _c
CPC12	95 _{abcd}	15,0 _{ab}	142 _{abc}	1,3 _f	0,5 _n	7 _{cd}	4,9 _c	2,8 _c
CPC43	90 _{abcd}	9,5 _{ab}	107 _{abcdefg}	7,8 _{ab}	3,2 _{bcdefghi}	29 _{bcd}	6,4 _{bc}	3,6 _{bc}
CPC41	95 _{abcd}	9,5 _{ab}	110 _{abcdefg}	4,4 _{abcdef}	3,6 _{bcdefg}	79 _a	6,5 _{bc}	3,5 _{bc}
CPC15	80 _{bcd}	11,0 _{ab}	145 _{ab}	212 _{ef}	0,5 _n	24 _{bcd}	5,1 _{bc}	3,0 _{bc}
CPC10	100 _{abc}	12,0 _{ab}	146 _{ab}	8,1 _a	2,9 _{defghi}	39 _{abcd}	11,3 _a	5,2 _a
CPC42	100 _{abc}	14,0 _{ab}	106 _{abcdefg}	2,7 _{def}	1,3 _{klmn}	80 _a	4,2 _c	2,2 _c
CPC39	105 _{ab}	9,0 _{ab}	112 _{abcdefg}	6,2 _{abcde}	2,6 _{efghijkl}	50 _{abc}	6,9 _{bc}	4,0 _{ab}
CPC38	100 _{abc}	10,0 _{ab}	121 _{abcdefg}	7,6 _{ab}	2,7 _{efghijk}	37 _{abcd}	6,8 _{bc}	3,9 _{bc}
CPC24	80 _{bcd}	8,5 _{ab}	100 _{bcdefg}	5,6 _{abcdef}	4,2 _{abcd}	38 _{abcd}	5,6 _{bc}	3,2 _{bc}
CPC46	95 _{abcd}	9,0 _{ab}	132 _{abcdef}	4,5 _{abcdef}	4,3 _{abc}	23 _{bcd}	6,7 _{bc}	4,1 _{ab}
CPC06	105 _{ab}	7,0 _b	93 _{defg}	4,0 _{abcdef}	1,9 _{ijklmn}	32 _{bcd}	6,9 _{bc}	4,8 _{ab}
CPC18	105 _{ab}	10,0 _{ab}	122 _{abcdefg}	7,5 _{abc}	3,3 _{bcdefghi}	31 _{bcd}	10,2 _{ab}	5,3 _a
CPC09	95 _{abcd}	9,5 _{ab}	112 _{abcdefg}	8,3 _a	2,8 _{defghij}	49 _{abc}	4,7 _c	2,1 _c
CPC08	100 _{abc}	9,5 _{ab}	109 _{abcdefg}	6,4 _{abcde}	3,2 _{bcdefghi}	52 _{ab}	7,3 _b	3,5 _{bc}
CPC25	85 _{abcd}	8,5 _{ab}	86 _{efg}	3,9 _{abcdef}	3,6 _{bcdefg}	25 _{bcd}	4,7 _c	2,9 _{bc}
CPC19	105 _{ab}	18,0 _a	122 _{abcdefg}	5,2 _{abcdef}	4,7 _a	45 _{abcd}	7,0 _b	3,6 _{bc}
CPC04	120 _a	11,5 _{ab}	124 _{abcdefg}	2,8 _{def}	2,4 _{ghijkl}	34 _{bcd}	5,0 _{bc}	2,3 _c
CPC45	110 _{ab}	10,0 _{ab}	116 _{abcdefg}	4,3 _{abcdef}	4,0 _{abcdef}	41 _{abcd}	7,0 _b	3,9 _{bc}
CPC36	83 _{abcd}	9,5 _{ab}	96 _{cdefg}	6,1 _{abcde}	3,4 _{bcdefgh}	42 _{abcd}	6,5 _{bc}	3,8 _{bc}
CPC47	95 _{abcd}	8,5 _{ab}	107 _{abcdefg}	5,1 _{abcdef}	3,9 _{abcdef}	47 _{abcd}	8,0 _b	3,2 _{bc}
CPC17	100 _{abc}	12,0 _{ab}	133 _{abcde}	6,8 _{abcd}	3,5 _{bcdefg}	38 _{abcd}	7,8 _b	3,7 _{bc}
CPC02	85 _{abcd}	12,0 _{ab}	117 _{abcdefg}	3,0 _{cdef}	2,6 _{efghijkl}	50 _{abc}	7,0 _b	2,6 _c
CPC13	40 _e	8,5 _{ab}	85 _{fg}	5,8 _{abcdef}	1,4 _{ijklmn}	28 _{bcd}	5,4 _{bc}	2,0 _c
CPC31	105 _{ab}	9,0 _{ab}	91 _{defg}	5,6 _{abcdef}	3,3 _{ghijkl}	30 _{bcd}	7,1 _b	3,4 _{bc}
CPC22	90 _{abcd}	12,0 _{ab}	126 _{abcdefg}	6,4 _{abcde}	3,7 _{bcdefg}	50 _{abc}	5,0 _{bc}	3,1 _{bc}
CPC37	90 _{abcd}	12,5 _{ab}	130 _{abcdef}	4,0 _{abcdef}	2,7 _{efghijk}	27 _{bcd}	7,6 _b	4,4 _{ab}
CPC34	95 _{abcd}	11,0 _{ab}	150 _a	7,7 _a	2,7 _{efghijk}	27 _{bcd}	9,0 _{ab}	3,6 _{bc}
CPC30	80 _{bcd}	9,0 _{ab}	91 _{defg}	3,4 _{bcd}	4,1 _{abcde}	17 _{bcd}	8,1 _b	3,8 _{bc}
CPC23	75 _{bcd}	10,0 _{ab}	125 _{abcdefg}	4,2 _{abcdef}	4,5 _{ab}	43 _{abcd}	6,3 _{bc}	3,2 _{bc}
CPC32	105 _{ab}	10,7 _{ab}	122 _{abcdefg}	7,5 _{abc}	3,3 _{bcdefghi}	31 _{bcd}	7,2 _b	3,8 _{bc}
CPC03	100 _{abc}	12,0 _{ab}	122 _{abcdefg}	4,8 _{abcdef}	2,9 _{defghi}	31 _{bcd}	6,7 _{bc}	3,1 _{bc}
CPC28	106 _{ab}	11,0 _{ab}	126 _{abcdefg}	5,8 _{abcdef}	3,4 _{bcdefgh}	33 _{bcd}	7,5 _b	4,9 _{ab}
CPC35	100 _{abc}	10,0 _{ab}	108 _{abcdefg}	5,1 _{abcdef}	3,2 _{bcdefghi}	32 _{bcd}	9,0 _{ab}	4,0 _{ab}
CPC27	65 _{cde}	9,0 _{ab}	96 _{cdefg}	5,3 _{abcdef}	3,1 _{bcdefghi}	32 _{bcd}	4,6 _c	2,3 _c
CPC26	105 _{ab}	11,0 _{ab}	113 _{abcdefg}	4,6 _{abcdef}	4,2 _{abcd}	35 _{bcd}	6,1 _{bc}	3,7 _{bc}
CPC33	90 _{abcd}	12,0 _{ab}	134 _{abcd}	4,8 _{abcdef}	3,7 _{bcdefg}	17 _{bcd}	6,5 _{bc}	3,0 _{bc}
CPC40	95 _{abcd}	9,0 _{ab}	110 _{abcdefg}	4,3 _{abcdef}	2,0 _{hijklm}	24 _{bcd}	7,0 _b	3,0 _{bc}
CPC29	103 _{abc}	13,0 _{ab}	116 _{abcdefg}	5,4 _{abcdef}	2,6 _{efghijkl}	28 _{bcd}	7,8 _b	3,2 _{bc}
CPC14	90 _{abcd}	10,0 _{ab}	120 _{abcdefg}	3,4 _{bcd}	1,2 _{lmn}	18 _{bcd}	5,8 _{bc}	1,8 _{cd}
Moyenne	92,88	10,51	115,56	4,96	2,95	33,15	6,67	3,31
Dév. std.*	14,75	2,09	17,13	1,73	1,07	14,28	2,13	1,04

Dans la colonne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité $P = 5\%$ / In the column, values followed by the same letter are not significantly different at the probability $P = 5\%$.
 HP : Hauteur de la plante ; CT : Circonférence de la tige ; LC : Largeur de la canopée ; LFr : Longueur du fruit ; DFr : Diamètre du fruit ; NGF : Nombre de graines par fruit ; LoF : Longueur de la feuille ; LaF : Largeur de la feuille / HP : Plant height; CT : Stem circumference; LC : Canopy width; LFr : Fruit length; DFr : Fruit diameter; NGF : Number of grains per fruit; LoF : Leaf length; LaF : Leaf width.

*: Déviation standard / *: Standard deviation.

Tableau 4 : Coefficients de corrélation entre le rendement en fruits et quelques caractères des composantes du rendement et du développement végétatif.

Correlation coefficients between fruit yield and some growth and yield component characters.

Caractères observés	HP	LoF	LaF	CT	LC	LFr	DFr	NFP	PPF	NGF
HP	1,000	0,307	0,335**	0,349*	0,383*	0,026	0,022	0,003	0,015	0,032
LoF		1,000	0,766**	-0,005	0,198	0,589**	0,255	-0,051	0,124	0,253
LaF			1,000	-0,041	0,153	0,612**	0,416**	-0,245	-0,139	0,278
CT				1,000	0,555**	-0,151	-0,086	0,082	0,021	-0,207
LC					1,000	0,048	-0,108	0,065	0,019	-0,099
LFr						1,000	0,432**	-0,261	0,019	0,406**
DFr							1,000	-0,267	0,091	0,472**
NFP								1,000	0,647**	-0,197
PPF									1,000	-0,175
NGF										1,000

*: Corrélation significative au seuil de probabilité P = 5 %.

** : Corrélation hautement significative au seuil de probabilité P = 1 %.

HP : Hauteur de la plante ; LoF : Longueur de la feuille ; LaF : Largeur de la feuille ; CT : Circonférence de la tige ; LC : Largeur de la canopée ; LFr : Longueur du fruit ; DFr : Diamètre du fruit ; NFP : Nombre de fruits par plante ; PPF : Poids de fruits par plante ; NGF : Nombre de graines par fruit.

*: Correlation significant at the probability P = 5 %.

** : Correlation highly significant at the probability P = 1 %.

HP: Plant height; LoF: Leaf length; LaF: Leaf width; CT: Stem circumference; LC: Canopy width; LFr: Fruit length; DFr: Fruit Diameter; NFP: Number of fruits per plant; PPF: Fruit weight per plant; NGF: Number of grains per fruit.

ANALYSE FACTORIELLE DES COMPOSANTES MULTIPLES (AFCM)

Des 11 caractères qualitatifs observés au cours de cette expérience, 5 d'entre eux ont été considérés comme les plus représentatifs, permettant de mieux décrire les différentes accessions de la collection de piments. Ces caractères qualitatifs les plus représentatifs ont une variance discriminatoire d'au moins 40 % sur la première composante factorielle (Tableau 5). Cette première composante a contribué pour 39,25 % de la variation, alors que la seconde composante a contribué pour 20,56 % de la variation seulement. Les positions relatives des différents caractères quantitatifs permettant de décrire les différents groupes accessions sont représentées sur la figure 2. Les caractères qualitatifs les plus représentatifs (TCV, PIA, FFr, PFAM, SFr) permettent de distinguer quatre classes (clusters) morphologiques différentes suivant leurs affinités morphologiques. Ces caractères qualitatifs les plus représentatifs sont suffisamment excentrés du point d'intersection des deux composantes factorielles, ce qui laisse suggérer qu'elles ont des variances discriminatoires suffisamment élevées pour contribuer de façon significative au regroupement des différentes accessions de la

collection en 4 classes (clusters) morphologiquement différentes. Les caractères qualitatifs les moins représentatifs (FF, CC, PFM, CG, PV, CF) ont une variance discriminatoire inférieure à 40 %, supposée insuffisante pour contribuer de façon significative au regroupement des différentes accessions en classes morphologiquement différentes.

CLASSIFICATION ASCENDANTE HIÉRARCHIQUE DES 41 ACCESSIONS DE LA COLLECTION DE PIMENTS

La répartition des 41 accessions de la collection de piments a permis d'obtenir 4 classes morphologiquement différentes, confirmant ainsi les informations données par l'AFCM. La spécification des combinaisons linéaires entre les différentes accessions au sein de chaque classe morphologique est représentée sur le dendrogramme (Figure 3).

- la classe I contient 30 accessions (CPC41 à CPC19), et est principalement caractérisée par des plants de piment qui ont une grande hauteur, une longueur et une largeur moyennes de la feuille, une circonférence de la tige moyenne, une grande largeur de la canopée, des fruits de longueur moyenne mais de grand diamètre, et

un nombre élevé de graines par fruit ; En plus, les accessions appartenant à cette classe ont une croissance végétative de type indéterminé, et la position de l'inflorescence à l'anthèse est pendante; les fruits sont de forme campanulée et leur surface est d'aspect ridé.

- la classe II contient seulement deux accessions (CPC10 et CPC18). Cette classe est principalement caractérisée par des plants de grande hauteur, une grande longueur et largeur de la feuille, une circonférence de la tige moyenne, une grande largeur de la canopée, des fruits de dimensions (longueur et diamètre) élevées, et un nombre élevé de graines par fruit. En plus, les accessions appartenant à cette classe ont une position de l'inflorescence à l'anthèse intermédiaire, des fruits de forme triangulaire et de couleur blanche avant la maturité.

- la classe III contient 4 accessions (CPC25, CPC27, CPC44 et CPC13). Elle est principalement caractérisée par des plants de grande

hauteur, des feuilles de très petites dimensions, une circonférence de la tige et une largeur de la canopée élevées, des fruits de très petites dimensions et un nombre de graines par fruit très faible. Les accessions appartenant à cette classe ont une croissance végétative de type déterminée, et un port végétatif érigé ; les fruits ont une surface lisse et une forme effilée. Les semences issues de ces fruits sont de couleur noire.

- la classe IV contient 5 accessions (CPC11, CPC12, CPC15, CPC42 et CPC14). Cette classe est principalement caractérisée par des plants de faible hauteur, des feuilles de petites dimensions, une circonférence de la tige et une largeur de la canopée faibles, des fruits de longueur moyenne, un diamètre du fruit et un nombre de graines par fruit élevés. Ces fruits sont de forme tassée ou presque arrondie, une surface d'aspect semi-ridée, et de couleur pourpre avant la maturité.

Tableau 5 : Tableau de contingence des différents caractères quantitatifs utilisés pour le regroupement des 41 accessions de piments en classes suivants leurs affinités morphologiques de l'AFCM.

Contingence table of the different qualitative characters used for the clustering of 41 pepper accessions following their morphological similarities.

Caractères qualitatifs	Dimension		Moyenne
	1	2	
<i>Type de Croissance végétative</i>	0,796	0,001	0,398
Forme des feuilles	0,294	0,072	0,183
<i>Position de l'inflorescence à l'anthèse</i>	0,704	0,018	0,361
Couleur de la corolle	0,068	0,101	0,084
<i>Forme des fruits</i>	0,597	0,679	0,638
<i>Pigmentation des fruits avant la maturité</i>	0,454	0,639	0,546
Pigmentation des fruits après la maturité	0,124	0,021	0,072
<i>Aspect de la surface du fruit</i>	0,689	0,272	0,480
Couleur des semences	0,356	0,165	0,261
Port végétatif des plants.	0,223	0,110	0,167
Couleur de la feuille	0,012	0,183	0,098
Total	4,316	2,262	3,289
Variance (%)	39,239	20,561	29,900

NB : Les caractères qualitatifs en italique sont les plus représentatifs / Qualitative characters in italic are the most representative.

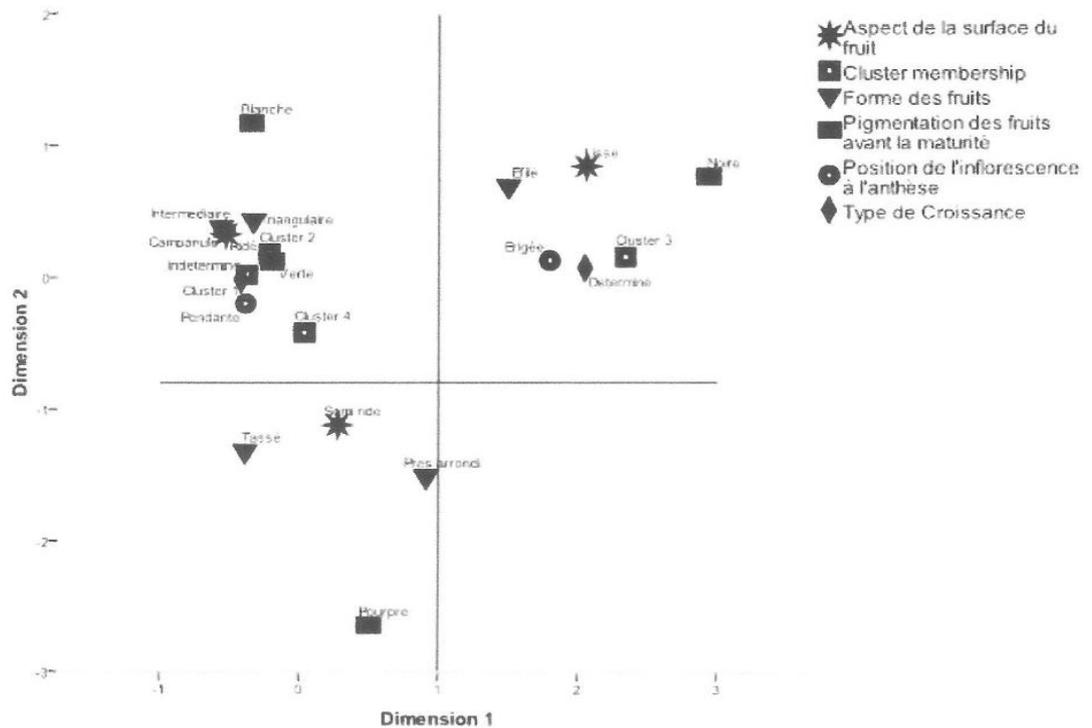


Figure 2 : Représentation graphique des 41 accessions de la collection de piments regroupés en 4 clusters en fonction de leurs caractères qualitatifs les plus discriminatoires, dans les deux premiers axes de l'AFCM.

Graphic representation of 41 accessions of pepper germplasm collection grouped in 4 clusters with regard to the most discriminant qualitative characters on the 1st and 2nd factorial axes issued from the multiple components factorial analysis.

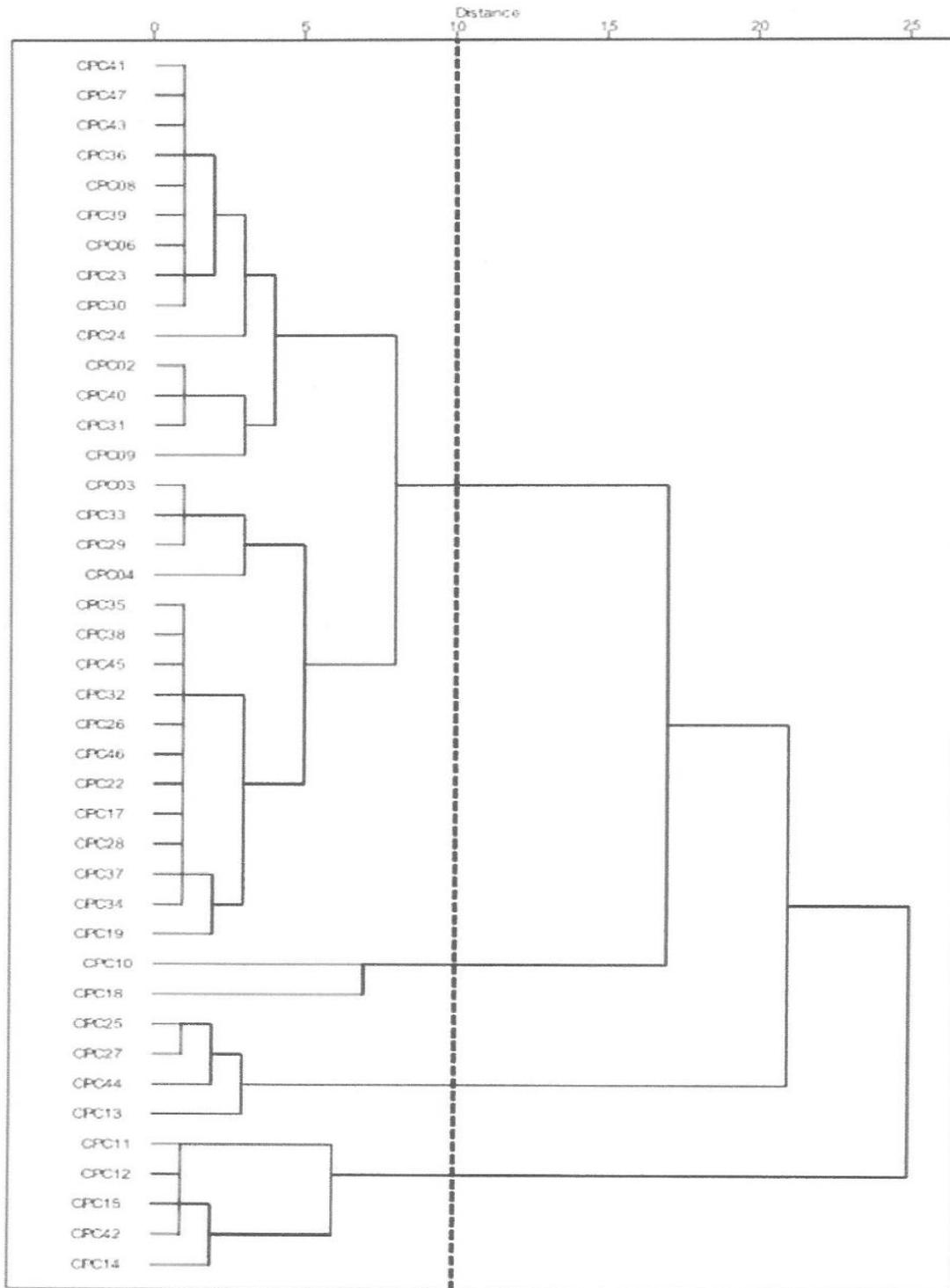


Figure 3 : Dendrogramme des classes ascendantes hiérarchiques des 41 accessions de la collection de piments suivant leurs affinités morphologiques.

Dendrogram of hierarchical ascending classes of 41 accessions of pepper germplasm collection following their morphological similarities.

DISCUSSION

Une grande variabilité entre les différents caractères morphologiques chez toutes les accessions de la collection a été observée. En effet, la culture du piment s'adapte à la presque totalité des zones agro-écologiques du Cameroun, comprises de 0 m (niveau de la mer) à plus de 2 000 m d'altitude, et des zones les plus arides jusqu'aux plus humides. Cette hétérogénéité des conditions aussi bien pédologiques que climatiques a favorisé la présence de plusieurs génotypes locaux morphologiquement très différents. Par ailleurs, le développement du commerce du piment aux niveaux local, sous-régional Afrique Central et même international a engendré l'introduction au Cameroun de ressources génétiques très diversifiées, en vue de répondre aux exigences d'une clientèle très variée de cette denrée à usages multiples (industries alimentaire, pharmaceutique, cosmétique, etc.). Aussi, les deux modes d'auto-pollinisation et de pollinisation croisée sont rencontrés naturellement chez le genre *Capsicum* : étant donné que le piment se multiplie essentiellement par voie générative, les matériels génétiques local et introduit se croisent au fil du temps pour donner plusieurs génotypes intermédiaires dans les jardins horticoles et qui pourraient être à l'origine de la grande variabilité morphologique observée au sein des différentes accessions de cette collection. Des observations similaires avaient déjà été faites par d'autres auteurs (Zewdie et Zeven, 1997 ; Bozokalfa et Esiyok, 2011).

Les corrélations entre les caractères morphologiques quantitatifs les plus représentatifs, les composantes du rendement et le rendement final en fruits ont été faites. Le piment est généralement une plante ayant un type de croissance végétative indéterminé et un port végétatif érigé ; ainsi, le développement de certains caractères morphologiques tels la hauteur de la plante ou la largeur de la canopée fournirait plus d'organes végétatifs pour la production d'assimilats photosynthétiques en vue d'accroître les rendements en fruits. De même, la corrélation entre les dimensions de la feuille (longueur et largeur) et certaines composantes du rendement en fruits était positive et hautement significative. Le développement des dimensions foliaires implique l'augmentation de l'interception des radiations

solaires et par voie de conséquence, de l'augmentation de la capacité photosynthétique par unité de la surface du sol. Au terme de cette expérience, il apparaît donc qu'il existe une association positive entre les caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final: cette assertion suggère que le développement de ces caractères morphologiques résulterait directement ou indirectement en l'augmentation du rendement en fruits. D'autres auteurs avaient déjà rapporté des résultats similaires (Aliyu *et al.*, 2000 ; Singh *et al.*, 2009). Aussi, la sélection basée sur des caractères morphologiques hautement liés au rendement à un stade précoce permet de développer un cultivar ayant un haut potentiel de rendement en un temps plus court. Les résultats obtenus sont semblables à ceux rapportés par d'autres auteurs (Bousslama *et al.*, 2001 ; Sood *et al.*, 2009).

Les méthodes d'analyses multivariées utilisées au cours de cette expérience ont permis d'obtenir 4 classes différentes, basées sur leurs affinités morphologiques. La classification ascendante hiérarchique a formé des groupes semblables à ceux formés par l'AFCM. En plus, elle a montré comment les accessions individuelles et les classes sont morphologiquement liées les unes aux autres, ce que l'AFCM n'a pas pu montrer. La classification ascendante hiérarchique a donc montré une représentation graphique plus précise de la manière dont les accessions morphologiquement similaires sont liées. Des résultats similaires avaient déjà été rapportés par d'autres auteurs (Sood et Kumar, 2011). En effet, deux accessions très rapprochées dans le dendrogramme ne sont pas significativement différentes sur le plan morphologique ; plus elles sont éloignées l'une de l'autre, plus elles sont morphologiquement différentes, et de ce fait peuvent être compatibles lors des croisements intra-spécifiques contrôlés en vue de produire des hybrides vigoureux ayant un haut potentiel de rendement en fruits commercialisables. Des observations similaires avaient déjà été rapportées par d'autres auteurs (Uzo, 1984 ; Meshram et Mukewar, 1986).

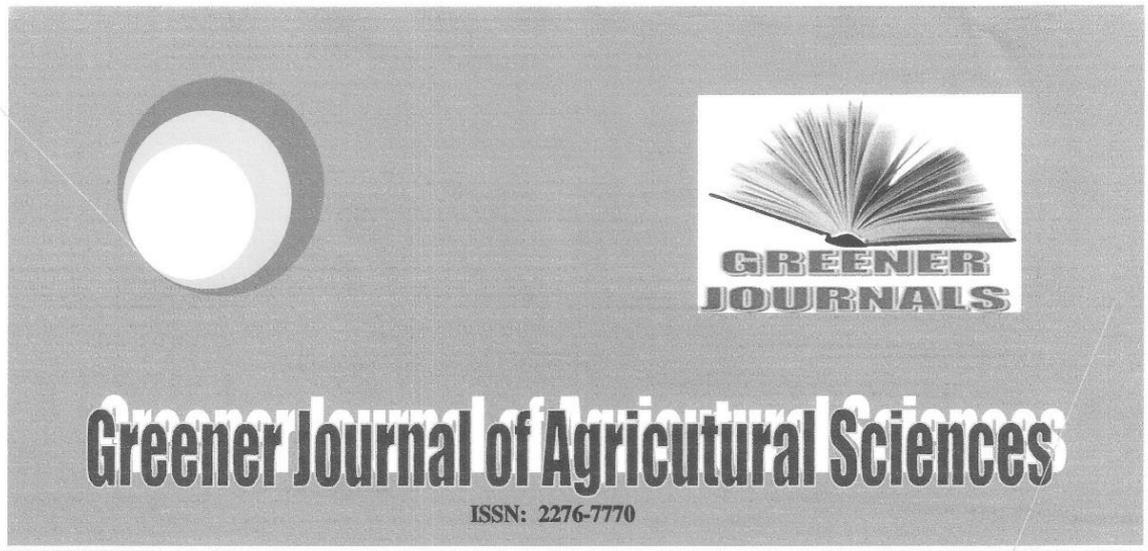
CONCLUSION

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de choisir 8 des 16 caractères quantitatifs considérés plus représentatifs,

permettant de mieux décrire les accessions de piments. Aussi, l'analyse de la variance (ANOVA) faites sur les variables quantitatives les plus représentatives a montré une grande variabilité morphologique d'une accession à l'autre. L'analyse des coefficients de corrélation a montré qu'il existe une corrélation positive et hautement significative entre certains caractères morphologiques, les composantes du rendement et le rendement final. L'analyse factorielle des composantes multiples (AFCM) a permis de choisir 5 des 11 caractères qualificatifs les plus représentatifs, permettant de mieux décrire les accessions de la collection regroupées en 4 classes (clusters) morphologiquement différentes. La classification ascendante hiérarchique a permis de regrouper les 41 accessions de la collection en 4 classes morphologiquement différentes, en précisant la manière dont les accessions sont liées entre elles. La grande variabilité observée au sein des différentes accessions de piments au cours de cette expérience ouvre de nouvelles perspectives aux programmes d'amélioration génétique, en mettant à la disposition des sélectionneurs un pool de gènes très diversifié, en vue de produire des hybrides ayant un haut potentiel de rendement en fruits commercialisables, adaptés aux différentes zones agro-écologiques du Cameroun et répondant à la demande du marché local, sous-régional et international.

REFERENCE

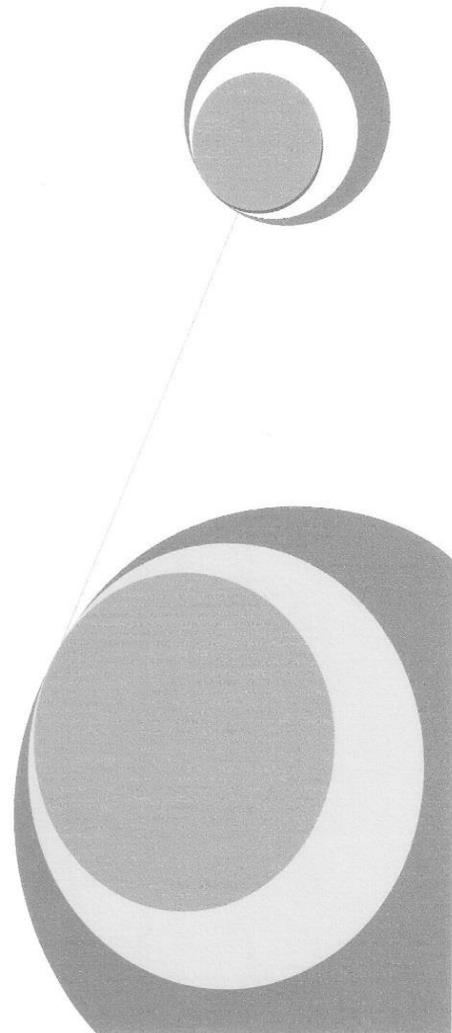
- Aliyu L., M. K. Ahmed and M. D. Magaji. 2000. Correlation and multiple regression analysis between morphological characters and components of yield in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Crop Res.* 19 (2) : 318 - 323.
- Bousslama M., M. Mathlouthi, M. Denden, K. Ben Berek and Z. Arfaoui. 2001. Analyse de composantes de rendement chez le piment (*Capsicum annuum* L.). *Cah. Agric.* 10 : 199 - 203.
- Bozokalfa M. and D. Esiyok. 2011. Evaluation of morphological and agronomic characterization of Turkish pepper accessions. *Intern. Journ. Of Veg. Sci.* 17 : 115 - 135.
- IPGRI, AVRDC, CATIE. 1995. Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy ; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- Meshram L. and A. M. Mukewar. 1986. Heterosis studies in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Scient. Hortic.* 28 (3) : 219 - 225.
- Paran T., E. Aftergoot and C. Shiffriss. 1998. Variation in *Capsicum annuum* revealed by RAPD and AFLP markers. *Euphyt.* 99 : 167 - 173.
- PDEA. 2000. Programme de Diversification des Exportations Agricoles. Programme prioritaire de promotion des Petites et Moyennes Entreprises (PME) en vue de l'élaboration d'une nouvelle politique nationale de promotion des exportations au Cameroun. 129 p.
- Singh Y., M. Sharma and A. Sharma. 2009. Genetic variation, association of characters, and their direct and indirect contributions for improvement in chilli peppers. *Intern. Journ. of Veg. Sci.* 15 : 340 - 368.
- Sood S. and N. Kumar. 2001. Morphological studies of bell pepper germplasm. *Intern. Journ. of Veg. Sci.* 17 : 144 - 156.
- Sood S., R. Sood, V. Sagar and K. C. Sharma. 2009. Genetic variation and association analysis for fruit yield, agronomic and quality characters in Bell pepper. *Intern. Journ. of Veg. Sci.* 15 : 272 - 284.
- Temple L. 2001. Quantification des productions et des échanges de fruits et légumes au Cameroun. *Cah. Agric.* 10 : 87 - 94.
- Uzo J. O. 1984. Hybrid vigour and gene action of two qualitative traits of flavour peppers in Nigeria. *Scient. Hortic.* 22(4) : 321 - 326.
- Zewdie Y. and A. C. Zeven. 1997. Variation in Yugoslavian hot pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions. *Euphyt.* 97 : 81 - 89.



**Effect of Chemical
Treatments on Pests
and Diseases of
Pepper (*Capsicum
annuum* L.)**

By

**Segnou Jean
Amougou Akoa
Youmbi Emmanuel
Jean Njoya**



Research Article

Effect of Chemical Treatments on Pests and Diseases of Pepper (*Capsicum annuum* L.)

Segnou Jean^{1*}, Amougou Akoa², Youmbi Emmanuel³ and Jean Njoya⁴

^{1,2} Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Njombe Multipurpose Research Station, P.O.Box 13, Njombe, Cameroon.

^{3,4} Department of Plant Biology, University of Yaounde I, P.O.Box 812, Yaounde, Cameroon.

*Corresponding Author's Email: segnoujean@yahoo.fr; Telephone: (237) 77 56 75 10

ABSTRACT

A study on the effects of chemical treatments of pests and diseases on pepper (*Capsicum annuum* L.) was carried out at the Institute of Agricultural Research for Development in Cameroon. The trial was laid out in a 4 x 4 factorial design (4 varieties of pepper x 4 chemical treatments), making 16 treatments in 4 replications. The results showed that chemical treatments had highly significant effects ($P < 0.001$) on the reduction of pepper plant infections by viral diseases. To control *Fusarium* disease, fungicide treatment and insecticide + fungicide treatment gave satisfactory results. To combat fruitflies (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp., etc.) responsible for premature fruit fall off, chemical treatments had highly significant effects ($P < 0.001$) on the reduction of the pests' population. The chemical treatments used during this experiment had highly significant effects ($P < 0.001$) on the number and average weight of marketable fruits harvested during the reproductive phase of pepper plants. Highly significant differences were observed in fruit yields from subplots in the following decreasing order: insecticide + fungicide, Insecticide, fungicide and finally the control with no chemical treatment. Concomitantly, the total revenue and benefit margin accruing from the different chemical treatments followed the same trend.

Key words: *Capsicum annuum* L., chemical treatments, pests and diseases, yield.

INTRODUCTION

Pepper (*Capsicum annuum* L., *Solanaceae* family, $2n = 24$) is an annual crop that originated from Central and South America. In Africa, *Capsicum* is so widely cultivated that African populations consider pepper as a fruit vegetable or as a traditional condiment. Pepper fruits are consumed fresh or dried either as whole fruit or ground, alone or in combination with a large number of other flavoring agents. The fruits are consumed in very small quantities and are considered as condiments or spices for appetite stimulation. Pepper is also used in industry as an ingredient for numerous foodstuffs, and also in certain cosmetic and pharmaceutical products (Grubben and El Tahir, 2004). Furthermore, pepper occupies a good rank among diversification crops for agricultural exports in Cameroon (PDEA, 2000). Prices are more and more attractive all year round, particularly for out of season production (between February and April). The crop therefore offers to small farmers specialized in this horticultural branch interesting incomes, thereby increasing their living standards.

In spite of the importance of pepper from both food and economic points of view, unfortunately in the field, pepper appears among the most infested crops, mostly during rainy seasons (March to October). The significant increase in pepper marketable fresh fruit yields brought about by appropriate water management, adoption of new cultural techniques and improved seeds as well as fertilizer applications appear useless if it is partly or totally lost through disease and pest attacks.

In Cameroon, different agricultural investigations have revealed that this crop is facing a certain number of major constraints: (i) fruit fall off before maturity, due to attacks of fruitflies (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp., etc.), (ii) *Fusarium* attacks, causing a fungal disease characterized by senescence followed by sudden death of entire pepper plants, and (iii) a viral disease, transmitted by whiteflies (*Bemisia tabaci*) and characterized by leaf discolorations culminating in severe distortions of leaves or irreversible plant stunting. These constraints are present in all pepper commercial production zones in Cameroon, and are responsible for significant marketable fruit yield losses.

The objective of this study is to define appropriate chemical control methods against these constraints in the short or medium term. Chemical treatments, using insecticides and fungicides, or their association, appear to be emergent solutions and the most indicated at this time, while waiting for the introduction and/or creation of resistant or tolerant varieties (genetic control, less costly and environmentally friendly). The specific objective of

this study is to increase pepper fresh fruit yields of the vegetable farmer in quantity and quality, in view of making it more competitive on the market of this versatile foodstuff, which is gaining importance at local, sub-regional and international levels, and consequently, to increase his income and his living standards.

MATERIALS AND METHODS

Planting material

Three selected varieties of pepper: Safi, Big sun, Thailande and a local variety (control) constituted the planting material used for this experiment. Safi and Big sun are big sized fruit cultivars with red and yellow colors at maturity respectively. They are representative of pepper varieties widely marketed in Cameroon presently. Thailande and Local are called bird peppers, because of the small size of their fruits at maturity. Samples of mature fruits were harvested and conserved in plastic buckets for 8 to 10 days in the laboratory. This operation was to allow the seeds attain physiological maturity within the fruit, thus guaranteeing good germination and further vigor of pepper plantlets. After maceration, there was successive rincings using tap water. Clean seeds which remained at the bottom of the container were dried under shade for 4 to 5 days, until a humidity rate of 10 to 12 % was reached (a *Dickey-John* humidimeter was used for this test).

In the pre-nursery, the prepared seeds were germinated in plastic germination boxes containing sterilized top soil. Watering was done daily. The duration of pepper plantlets in the pre-nursery was 30 to 45 days.

In the nursery, plantlets of the different pepper varieties, 5-10 cm in height were selected from the pre-nursery and transplanted in perforated polythene bags filled with fertile topsoil. Watering was also done daily. Transplantation of pepper plantlets to the experimental field was done when they were about 45 days old and about 15-20 cm in height.

Chemical products (Pesticides)

In view of reducing the harmful effects of pests and diseases (fruitflies, whiteflies which are vectors of viral diseases and *Fusarium* disease), the following pesticides were used: an insecticide (cypercal® 50 EC; active ingredient: 50 g/l of cypermethrin), a fungicide (trimangol® 80 WP; active ingredient: 800 g/kg of mancozeb), and an association of both chemicals (cypercal® 50 EC + trimangol® 80 WP).

Cypercal® 50 EC is a multisite insecticide with a wide spectrum of activity. It is toxicologically classified as slightly hazardous (Class II: FAO/WHO); this pesticide is registered in Cameroon under N° 463/08/IN/HOMO/CNHPCAT/CMR. Cypercal® 50 EC is a very large polyvalent insecticide belonging to the synthetic pyrethroid family. This product acts by contact, ingestion and inhalation and has a preventive and curative action and a good persistence for the control of numerous insects of food and vegetable crops. It acts by a "knock down" effect: it reacts on the nervous system of the insect, causing a partial or complete loss of the ability to move (paralysis). It is manufactured by Arysta LifeScience (France) and distributed in Cameroon by FIMEX International S.A.

On the other hand, trimangol® 80 WP is a multisite contact and polyvalent fungicide with a wide spectrum of activity. It is toxicologically classified as slightly hazardous, with possible irritation to the mucous (Class II: FAO/WHO); this pesticide is registered in Cameroon under N° 067/97/FO/HOMO/CNHPA/CAM. Trimangol® 80 WP belongs to the dithiocarbamate family, acts by contact and has a preventive action and a good persistence for the control of numerous diseases of food and vegetable crops. It disrupts the whole metabolism of the fungus: it inhibits glucose oxidation, the synthesis of nucleic acids and the degradation of fatty acids (Kome, 1979). It is a trademark of CEREXAGRI BV (France) and distributed by ADER Cameroon S.A.

Cypercal® 50 EC was used at the dose of 20 ml of commercial product in a knapsack sprayer of 15 l, or 2 l/ha; trimangol® 80 WP was used at the dose of 25 g of commercial product per knapsack sprayer of 15 l, or 2 kg/ha. Before spraying, the required quantity of emulsifiable concentrate (EC) or wettable powder (WP) was previously mixed with 1 l of water until a homogenous mixture was obtained; this mixture was then poured in the knapsack sprayer and completed to 15 l with clean water before application.

Field layout and follow up of the experiment

The experiment was laid out at the Institute of Agricultural Research for Development, Njombe Multipurpose Research Station in Cameroon (altitude: 80 m.a.s.l.; mean annual temperature: 28 °C; annual rainfall: 2900 mm; soil type: volcanic, very fertile). The experimental design was a 4 x 4 factorial (4 varieties of pepper x 4 types of chemical treatments), giving 16 treatments in 4 replications. The chemical treatments considered were as follow: insecticide (treatment A), fungicide (treatment B), insecticide + fungicide (treatment C), and the control which received no chemical treatment (treatment D). The subplot size was 5 m x 4 m (4 rows of 5 m long). The planting distance was 1 m x 1 m (giving a density of 10,000 plants/ha). Of the 4 rows planted in each subplot, observations were made on the 2 inner rows, the two peripheral rows limiting the boarder effect.

Chemicals were applied weekly on the pepper plant shoots, starting two weeks after transplanting, and they were maintained during both vegetative growth and reproductive development phases of the plants. During the reproductive phase, chemicals were applied immediately after mature fruits were harvested on a weekly basis, in order to reduce pesticide residues which could be harmful to consumers. During the vegetative growth and reproductive development phases, a total of 10 chemical applications were made. Also, in order to improve crop growth and subsequently fruit production for a longer period of time, a bulk fertilizer NPK 19-4-16 was used; it was made up of 150 kg/ha urea + 80 kg/ha single superphosphate + 120 kg/ha potassium sulphate (making 350 kg/ha/application, or 35 g/plant/application of bulk fertilizer NPK). Four fertilizer applications were made during the cropping season, making a total of 1,400 kg/ha of bulk fertilizer NPK.

In each subplot, observations were made weekly on the severity of infection due to pests and diseases (viral infestations on the aerial parts of pepper plants, number of plants senesced and/or died, number of fruits which fell from the plant before maturity). A subjective scoring scale was used as follows: 1 = resistant; 2 = tolerant; 3 = susceptible; 4 = very susceptible. The number and weight (g) of good quality fruits harvested at maturity were also recorded.

Statistical analysis of data

Analysis of variance (ANOVA) was done using Genstat, version 4.2, and means separated using the Student Newman-Keuls test.

Economic analysis of the chemical treatments

Data were collected on the costs of pesticides; the costs on the local market in Njombe, Cameroon were considered (3,500 CFAF/kg of trimangol® 80 WP and 6,000 CFAF/l of cypercal® 50 EC). The cost of chemical fertilizers was also estimated based on their prices on the local market (18,000 CFAF/bag of 50 kg). Investigations were also made by contacting vegetable farmers on the quantity and cost of manual labor (nursery establishment, land preparation, transplantation, pesticides applications, field maintenance, and weekly harvests of mature fruits) necessary to produce one hectare of pepper; these investigations revealed that a total of 800 man-days evaluated at 1,500 CFAF/man-day was necessary to carry out these activities. On the local market in Cameroon, a plastic bucket of 15 l content is the measuring unit for the commercialization of pepper fresh fruits. It contains about 5 kg of fresh fruits which are sold at 5,000 CFAF. At the end of the estimations, the benefit-cost ratio (r) was calculated. It was computed as: Benefit-cost ratio (r) = Total benefit/Total cost. This implies that for every 1 CFAF invested in the production of pepper, a profit of r CFAF is expected.

RESULTS

Effect of different chemical treatments on the severity of viral diseases

Observations made during both vegetative growth and reproductive development phases revealed that the chemical treatments applied during this experiment had highly significant effects ($P < 0.001$) on the severity of viral diseases on pepper plants (Table 1).

Table 1: Analysis of variance (Mean square and P-Value) relative to the incidence of viral diseases on pepper plants.

Source of variation	Degree of freedom (d.f)	Sum of squares (s.s)	Mean square (m.s)	P-Value
Replications	2	53.52	26.76	
Varieties	3	345.26	115.08	< 0.001
Error	6	26.68	4.44	
Chemical treatments	3	30.96	10.32	< 0.001
Varieties x Chemical treatments	9	7.25	0.8	0.797
Error	24	33.12	1.38	
Times of harvest	12	36.47	3.03	< 0.001
Varieties x Times of harvest	36	24.06	0.66	< 0.001
Varieties x Chemical treatments x Times of harvest	108	30.24	0.28	0.307
Error	384	100	0.26	
Total variation	623	708.97		

For instance, subplots which received the chemical treatments combination (treatment C) had a lower degree of severity to viral diseases, which varied between 1.2 and 1.8. The non-treated subplots for all the pepper varieties had the highest degree of severity, varying from 1.2 after transplanting to 3.4 by the end of the growing phase of pepper plants (Fig. 1). The chemical treatments with insecticide alone (treatment A) and fungicide alone (treatment B) occupied intermediary positions. Globally, Thaiande variety had the lowest degree of severity to viral diseases independent of the chemical treatment applied.

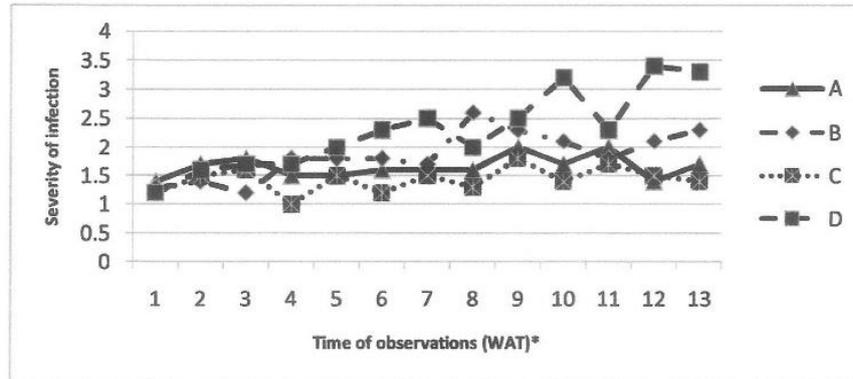


Figure 1.

A: Insecticide treatment (cypercal[®] 50 EC); B: Fungicide treatment (trimangol[®] 80 WP);
C: Insecticide + Fungicide treatment combination (cypercal[®] 50 EC + trimangol[®] 80 WP);
D: Control (no chemical treatment).

Effect of different chemical treatments on the severity of *Fusarium* disease

During the vegetative growth and reproductive development phases of the pepper plants, the different varieties had different degrees of severity to soil parasites responsible for senescence followed by plants dead. For instance, treatment B (trimangol[®] 80 WP) and treatment C (cypercal[®] 50 EC + trimangol[®] 80 WP) gave interesting results ($P = 0.075$) for all the pepper varieties (Table 2). The severity of infection was very low in subplots which received the treatment combination (treatment C), varying from 1.0 after transplanting to 1.8, 7 weeks later. The severity of infection was higher in subplots which received the insecticide treatment alone (treatment A) and the control, where higher severities of 2.6 and 2.8 respectively were observed (Fig. 2). Generally, pepper plants senescence followed by plants dead, which is a disease widely encountered in all pepper production zones in Cameroon, had a very low degree of severity during this experiment.

Table 2: Analysis of variance (Mean square and P-Value) relative to the incidence of *Fusarium* disease on pepper plants.

Source of variation	Degree of freedom (d.f)	Sum of squares (s.s)	Mean square (m.s)	P-Value
Replications	2	11.19	5.59	
Varieties	3	8.01	2.87	0.23
Error	6	8.41	1.4	
Chemical treatments	3	6.41	2.13	0.075
Varieties x Chemical treatments	9	2.01	0.22	0.976
Error	24	19.67	0.82	
Times of harvest	12	62.81	5.23	< 0.001
Varieties x Times of harvest	36	11.75	0.32	0.972
Chemical treatments x Times of harvest	36	22.36	0.62	0.291
Varieties x Chemical treatments x Times of harvest	108	17.63	0.16	1.000
Error	384	21.05	0.55	
Total variation	623	382.34		

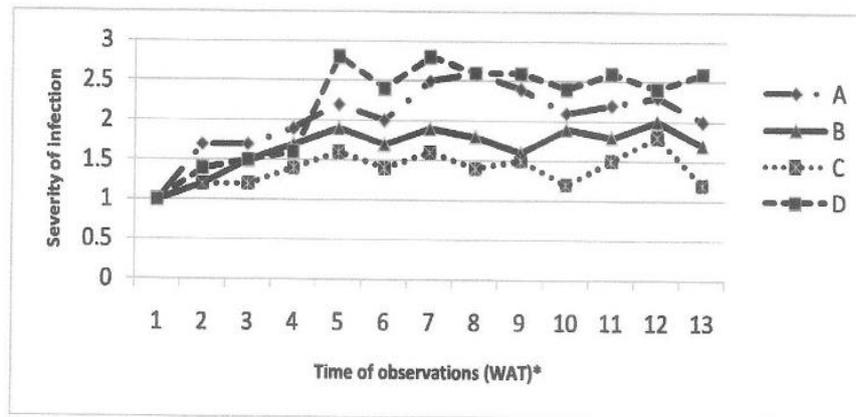


Figure 2.

*WAT: Weeks after transplantation.

A: Insecticide treatment (cypercal[®] 50 EC); B: Fungicide treatment (trimangol[®] 80 WP);

C: Insecticide + Fungicide treatment combination (cypercal[®] 50 EC + trimangol[®] 80 WP);

D: Control (no chemical treatment).

Effect of different chemical treatments on fruitflies' damages

During this experiment, damages due to fruitflies (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp., etc.) which are characterized by the number of fruits that fall off before maturity varied from one chemical treatment to another during the pepper plants reproductive phase. For instance, the chemical treatments applied during this experiment had highly significant effects ($P < 0.001$) on the reduction of the pests' population (Table 3). During that same reproductive phase of pepper plants, the severity of infection due to fruitflies' damages was significantly low in the subplots which received the treatments combination (treatment C); for this treatment, the degree of severity varied from 1.0 at the start of fruit harvest and culminated at 1.8 by the end of the crop growth cycle. This treatment was immediately followed by the insecticide treatment (treatment A) on the basis of chemical treatment effectiveness to control these pests. The severity of infection was relatively higher in subplots which received the fungicide treatment (treatment B) and finally the control (treatment D), in that order (Fig. 3).

Table 3: Analysis of variance (Mean square and P-Value) relative to the number of fruits that fell off before maturity (damages due to fruitflies) during the reproductive phase of pepper plants.

Source of variation	Degree of freedom (d.f)	Sum of squares (s.s)	Mean square (m.s)	P-Value
Replications	2	520.83	260.42	
Varieties	3	1,345.96	448.65	0.024
Error	6	398.59	66.43	
Chemical treatments	3	205.31	68.43	< 0.001
Varieties x Chemical treatments	9	520.79	57.87	0.212
Error	24	939.29	39.14	
Times of harvest	12	1,979.77	164.98	< 0.001
Varieties x Times of harvest	36	1,543.42	42.87	< 0.001
Chemical treatments x Times of harvest	36	270.91	7.53	0.984
Varieties x Chemical treatments x Times of harvest	108	1,270.01	11.76	0.814
Error	384	5,215.28	13.58	
Total variation	623	14,210.15		

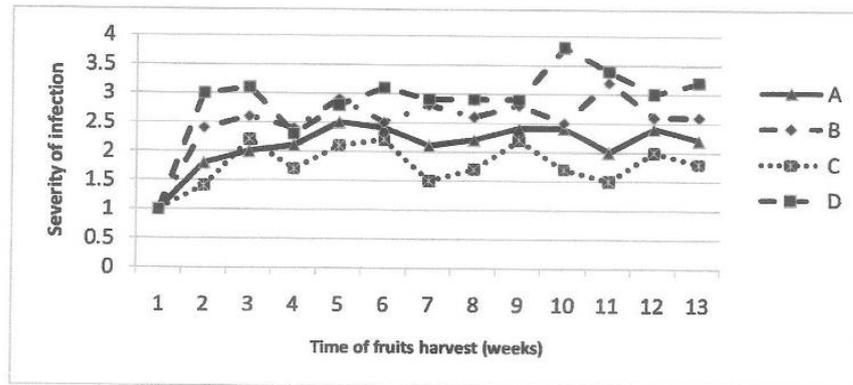


Figure 3: Incidence of fruitflies on pepper fruits over time.

*WAT: Weeks after transplantation.

A: Insecticide treatment (cypercal[®] 50 EC); B: Fungicide treatment (trimangol[®] 80 WP);
 C: Insecticide + Fungicide treatment combination (cypercal[®] 50 EC + trimangol[®] 80 WP);
 D: Control (no chemical treatment).

Effect of chemical treatments on fruit yield components and final yield

The chemical treatments applied during this experiment had significant effects on the increase of number of mature fruits harvested per treated sub-plot in all pepper varieties (Table 4). A higher number of marketable fruits harvested was recorded with the trimangol[®] treatments (treatment B) and mostly the cypercal[®] + trimangol[®] treatment (treatment C); treatment D (control) only gave lower numbers of healthy pepper fruits harvested. On the other hand, the different chemical treatments applied during this experiment had significant effects on the mean weight increase (g/plant) of healthy fruits harvested per treated subplot in all pepper varieties (Table 4). The highest marketable fruit yields were obtained in the experimental subplots which were treated with the insecticide + fungicide (treatment C: 13,524 kg/ha), insecticide (treatment A: 9,342 kg/ha), fungicide (treatment B: 7,506 kg/ha), and finally the control which received no chemical treatment (treatment D: 3,308 kg/ha), in a decreasing order. On the whole, the plots which received these chemical treatments outyielded the control by 308.82 %, 182.40 %, and 126.90 % respectively.

Table 4: Effect of chemical treatments on fruits yield component and final yield.

Treatment	Mean number of fruits/plant	Mean weight of fruits (g/plant)	Fruit yields (kg/ha)
A	381.2 ^b	934.2 ^b	9,342 ^b
B	349.2 ^b	750.6 ^b	7,506 ^b
C	601.2 ^a	1352.4 ^a	13,524 ^a
D	169.6 ^c	330.8 ^c	3,308 ^c

In the column, figures followed by the same letter are not significantly different at the probability level $P = 0.05$.

A: Insecticide treatment (cypercal[®] 50 EC); B: Fungicide treatment (trimangol[®] 80 WP);
 C: Insecticide + Fungicide treatment combination (cypercal[®] 50 EC + trimangol[®] 80 WP);
 D: Control (no chemical treatment).

Economic analysis of the chemical treatments

The variable cost items involved in the production process showed that the cost of pesticides varied from one chemical treatment to the other. That cost was highest when the chemical treatments were combined (treatment C: 190,000 CFAF/cropping season), followed by the treatment with insecticide alone (treatment A: 120,000 CFAF/cropping season). The chemical treatment using the fungicide alone (treatment B: 70,000 CFAF/cropping season) was less expensive compared to the previous ones, and it

was immediately followed by the control which received no chemical treatment (Table 5). The cost of other items such as mineral fertilizers and manual labor were uniform in all the four treatments. This result further showed that the chemical treatment using the fungicide alone (treatment B), the insecticide alone (treatment A), and the combination of both chemical treatments (treatment C) only increased total input cost by 4.10 %, 7.05 %, and 11.15 % respectively over treatment with no pesticide (control).

Table 5: Economic analysis of the chemical treatments.

Treatments	Cost of pesticides (CFAF/ha)	Cost of mineral fertilizers (CFAF/ha)	Cost of manual labor (CFAF/ha)	Total variable costs (CFAF/ha)	Fruit yields (kg/ha)	Total revenue (CFAF/ha)	Total benefit (FCFA/ha)	Benefit-cost ratio, r
A	120,000	504,000	1,200,000	1,824,000	9,342	9,342,000	7,518,000	4.1 ^b
B	70,000	504,000	1,200,000	1,774,000	7,506	7,506,000	5,732,000	3.2 ^b
C	190,000	504,000	1,200,000	1,894,000	13,524	13,524,000	11,630,000	6.1 ^a
D	0	504,000	1,200,000	1,704,000	3,308	3,308,000	1,604,000	0.9 ^c

Exchange rates: 1 € = 655.95 CFAF.

In the column, figures followed by the same letter are not significantly different at the probability level $P = 0.05$.

At the prevailing market price of 5,000 CFAF per plastic bucket containing 5 kg of mature pepper fruits, results of this study further showed that the total revenue yielded in plots treated with a combination of insecticide + fungicide (13,524,000 CFAF/ha) was appreciably higher than those produced in the other treatments (Table 5). Then followed the total revenue yielded in plots treated with the insecticide alone (9,342,000 CFAF/ha), and the total revenue yielded in plots treated with the fungicide alone (7,506,000 CFAF/ha). The total revenue yielded in the non treated plots was the lowest (3,308,000 CFAF/ha). The total benefit realized by the production processes showed that plants that received the combined treatment of insecticide + fungicide produced the highest total benefit of 11,630,000 CFAF. The total benefits obtained from the combined treatment, the insecticide, and the fungicide treatments were 625.06 %, 368.70 %, and 257.35 %, respectively higher than the total benefit accruing from the control (1,604,000 CFAF). Similarly, the treatment with the combination of insecticide + fungicide produced the highest benefit-cost ratio ($r = 6.1$). This ratio was followed by treatment with insecticide alone ($r = 4.1$), fungicide alone ($r = 3.2$), and the control ($r = 0.9$), in a decreasing order.

DISCUSSION

The different chemical treatments significantly influenced the susceptibility of the different pepper varieties to the infection of viral diseases, and insecticide treatments (treatment A) and insecticide + fungicide treatments (treatment C) gave interesting results. This latter treatment has been implemented to reduce the number of applications, as the main objective targeted by the mixture is the synergistic action of both insecticide and fungicide. For instance, viral diseases on pepper are present in almost all the pepper farms in Cameroon, the principal causal agent being Potato Virus Y (PVY): these viruses are responsible for leaf discolorations, which may culminate to leaf distortions and even to plant stunting. At that advanced stage of the disease, the situation is irreversible, resulting in a significant reduction in marketable fruit yields. Efficient control against PVY is based essentially on an efficient chemical control against whiteflies (*Bemisia tabaci* L.), which are vectors of the disease (Maruthi *et al.*, 2003), and on the use of tolerant varieties (genetic control) such as Thailande which was evaluated during this study: this pepper variety could possess genes of resistance for this particular parameter studied, and consequently could be used as a parent during intra-specific crosses in view of producing hybrid varieties resistant or tolerant to viral infections and possessing a high yield potential.

Chemical treatments are more efficient when applied as a preventive measure, immediately after crop transplantation in the field. Chemical treatments efficiency against viral diseases is increased when the vegetative growth of pepper plants is accelerated, by an appropriate choice of land and mineral and/or organic fertilization schedules (Aliyu, 2000). Alternative control methods such as odoriferous traps, which exert either attractive or repellent effects on the vectors (Boucher *et al.*, 2003) could be prospected, in order to keep the population at an acceptable level and avoid economic fruit yield losses.

Concerning the control of *fusarium* disease, the fungicide treatment (treatment B) and insecticide + fungicide treatment (treatment C) gave the most interesting results. Similar observations have already been reported by other authors (Flors *et al.*, 2001). This disease is present and highly devastating in most pepper

production zones of Cameroon; it is at the origin of considerable marketable fruit yield losses. In gardens, chemical treatments should be applied weekly immediately after mature fruits harvest: the interest of that agronomic practice is to reduce toxic residues of pesticides on fruits ready for commercialization and/or consumption. Similar observations had already been reported by other authors (Antonius, 2004). Furthermore, it is advised to use tolerant varieties and also to avoid growing solanaceous crops (tobacco, irish potato, etc.) successively on the same piece of land. *Fusarium* disease has devastating effects on soils with poor drainage. These principles should be taken into consideration when choosing and preparing land for pepper production, as earlier reported by other authors (Chellemi, 2006). On the whole, to be in line with the current principles of integrated pest management, it is recommended to prospect ecologically based approaches to control pepper diseases, such as appropriate mineral and/or organic soil fertilization and amendment schedules, as earlier reported by other authors (Kim et al., 1997).

Fruitflies (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp., etc.) cause enormous damages on pepper populations, laying their eggs in immature fruits: larvae development after eggs hatching is responsible for premature infested fruit fall from the plants in pepper gardens. The action of chemical treatments is achieved through the destruction, repelling or at least the reduction of pests' populations, in view of preserving pepper fruits from damage. Similar results had already been reported by other authors (Seal et al., 2009). Furthermore, injuries caused on pepper by fruitflies are responsible for enormous harms to Cameroonian farmers, as such infested products have a considerably reduced market value.

Furthermore, the chemical treatments used during this experiment had significant effects on yield parameters: the number and mean weight of healthy fruits harvested during the reproductive phase of pepper plants. These results allow us to suggest that solanaceous crops are amongst the most infested in horticultural farms, and the insufficiency or absence of chemical treatments could lead inexorably to significant marketable fruit yield losses, as earlier reported by other authors (Daniell and Falk, 1994).

However, most pesticides have been designed to kill a large spectrum of pests: they therefore have a large spectrum of toxicity, and are harmful to both natural enemies and pollinators which play an important role on fruit yields, environment, human and animals, as reported by other authors (James et al., 2010). A particular accent should therefore be put on the conception and manufacturing of selective pesticides in view of significantly increasing the production of pepper, a versatile crop which nowadays occupies a good rank among the diversification products of agricultural exportation in Cameroon. Considerable efforts should also be made towards the use of different local plant resources, such as neem (*Azadirachta indica*) or garlic (*Allium sativum*) to manufacture natural pesticides, as these are efficient, economical, and less harmful to plants, consumers and the environment (Ogbalu, 1999). Consequently, cropping systems less harmful to the environment otherwise known as organic agriculture could be envisaged, as their products are highly demanded on the international market and also have a very high market value than products from conventional agriculture (Chellemi and Roskopt, 2004).

The results obtained from this study show that pepper is a "minor" or "neglected" food crop, but which instead has great potential revenues per cropping season (5-6 months). With the highest total revenue of 13,524,000 CFAF (treatment C), pepper then deserves to occupy a good rank among diversification crops of agricultural exportation in Cameroon. This treatment also registered the highest benefit-cost ratio ($r = 6.1$), which implies that for every 1 CFAF invested in the production of pepper, a total benefit of 6.1 CFAF is expected. On the other hand, the control (treatment D) gave a significantly lower benefit-cost ratio of $r = 0.9$: pepper production should therefore not be envisaged if appropriate phytosanitary measures are not readily available in sufficient quantity during the cultivation of this crop. Similar recommendations had already been made by other authors (Cruz et al., 1984).

On the whole, pepper production, if well managed may be considered a profitable business which can reduce rural exodus and improve the living standards of the rural poor in Cameroon. The demand for this commodity is ever increasing all year round and prices become more and more attractive in local, regional and international markets. Local farmers could therefore conquer more shares on the market of this versatile crop which is gaining importance worldwide. Similar observations had already been made by other authors (DeWitt and Bosland, 1996).

CONCLUSION

The chemical treatments combination (treatment C) and the insecticide treatment (treatment A) had highly significant effects on the severity of viral diseases on pepper plants. Also, the chemical treatments combination and fungicide treatment (treatment B) gave interesting results for the control of pepper plants senescence followed by plants dead (*fusarium* disease). In addition, the severity of infection due to fruitflies's damages was significantly low in the subplots which received the combination treatments (treatment C). Finally, the chemical treatments applied during this experiment had significantly positive effects on number and weight of marketable fruits yields from subplots in the following decreasing order: insecticide + fungicide, insecticide, fungicide and finally, the control with no chemical treatment. The total revenue and benefit margin accruing from the different chemical treatments followed the same trend. As most pesticides are designed to kill a large spectrum of pests

and are therefore harmful to both natural enemies and pollinators, new perspectives could be granted to the conception and manufacturing of selective pesticides as they are less harmful to plants, consumers and the environment.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the assistance of the field staff of the Horticultural Unit, Njombe Multipurpose Research Station, and of Koudiekong Lazare for statistical analyses.

REFERENCES

- Aliyu L (2000). Effect of organic and mineral fertilizer on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annum* L.). *Biological Agriculture and Horticulture* 18 (1): 29-36.
- Antonius GF (2004). Residues and half-lives of Pyrethrins of field grown pepper and tomato. *Journal of Environmental Science and Health. Part B: Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes* 39 (4): 491-503.
- Boucher T, Ashley J, Durgy R, Sciabarrasi M & Calderwood W (2003). Managing the pepper maggot (*Diptera: Tephritidae*) using perimeter trap cropping. *Journal of Economic Entomology* 9(2): 420-432.
- Chellemi DO (2006). Effect of urban debris and soil management practices on plant parasitic nematods, *Phytophthora* blight and *Pythium* root rot of bell pepper. *Crop Protection* 25(10): 1109-1116.
- Chellemi DO & Roskopt EN (2004). Yield potential, soil quality under alternative crop production practices for market pepper. *Renewable Agriculture and Food Systems* 19(3): 168-175.
- Cruz D, Acosta J & Negron F (1984). Evaluation of various pesticides for the control of aphids, mites, and nematodes in peppers. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 68: 457-465.
- Daniell G & Falk A (1994). Economic comparison of *Phytophthora* root rot control methods. *Crop Protection* 13: 331-336.
- DeWitt D & Bosland P (1996). Peppers of the world. TenSpeed Press, Berkley, USA.
- Flors V, Miralles C, Cerezo M, Gonzalez-Bosch C & Garcia P (2001). Effect of a novel chemical mixture on senescence processes and plant-fungus interaction in *Solanaceae* plants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 49 (5): 2569-2575.
- Grubben GJH & El Tahir IM (2004). *Capsicum annum* L. In PROTA2/ Vegetables/Légumes. (Eds Grubben GJH and Denton OA). PROTA, Wageningen, The Netherlands. 19 p.
- James B, Atcha-Ahowé C, Godonou I, Baimey H, Goergen H, Sikirou R & Toko M (2010). Integrated pest management in vegetable production: A guide for extension workers in West Africa. International Institute of tropical Africa (IITA), Ibadan, Nigeria. 120 p.
- Kim KD, Nemeč S and Mousson G (1997). Effects of composts and soil amendments on soil microflora and *Phytophthora* root and crown rot of bell pepper. *Crop Protection* 16: 165-172.
- Kome JJ (1979). Protection des plantes et des denrées. Laboratoire d'entomologie, Centre Universitaire de Dschang, Cameroun. 111 p.
- Maruthi MN, Muniyappa D, Green SK, Colvin J and Hanson P (2003). Resistance of tomato and sweet pepper genotypes to tomato leaf curl Bangalore virus and its vector *Bemisia tabaci*. *International Journal of Pest Management* 49(4): 297-303.
- Ogbalu OK (1999). The effects of different traditional sources of nutrients on the infestation of pepper fruits by the pepper fruitfly (*Atherigona orientalis* Shiner), in Nigeria. *Journal of Agronomy and Crop Science* 182 (1): 65-71.
- PDEA (2000). Programme prioritaire de promotion des PME au Cameroun. Projet N° CMR/92/007. 129 p.
- Seal DR, Ciomperlik M, Richards MI and Klassen W (2009). Comparative effectiveness of chemical insecticides against the chili pepper thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (*Thysanoptera: Thripidae*), on pepper and their compatibility with natural enemies. *Crop Protection* 25(9): 949-955.

Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (*Capsicum annuum* L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences

J. Segnou¹, Amougou Akoa² & E. Youmbi³

Keywords: *Capsicum annuum* L.- Seeds- Packaging- Viability- Seedling- Cameroon

Résumé

Une étude sur la viabilité et le développement végétatif des plantules de piment (*Capsicum annuum* L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences a été menée à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Njombé au Cameroun. Des tests de germination ont été faits à intervalles de 30 jours pendant 24 semaines de conservation de semences à température ambiante au laboratoire. Quatre variétés de piment (Safi, Big sun, Thaïlande et Local) conservées dans 5 matériels de conditionnement des semences (boîtes en verre, boîtes en plastique, sachets en papier, sachets en polyéthylène et sachets en aluminium) étaient utilisées. L'essai était mis en place suivant un dispositif factoriel 4 x 5 (4 variétés de piment x 5 matériels de conditionnement des semences), soit 20 traitements en 5 répétitions. A chaque test, le comptage de graines germées avait lieu chaque jour pendant une période de 15 jours. Pour estimer le développement végétatif des plantules, on a élevé à chaque test dans des sachets en polyéthylène remplis de terre locale superficielle, 5 plantules de chaque variété de piment issue de chaque matériel de conditionnement de semences. Chaque échantillon était répété 10 fois. Trente jours après le semis, les observations étaient faites sur les paramètres du développement végétatif. Les résultats obtenus montrent que pour toutes les variétés de piment, le taux de germination est élevé immédiatement après la préparation des semences. Puis la perte de la viabilité est lente lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en aluminium, et plus accélérée lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène; les autres matériels de conditionnement occupent des positions intermédiaires. De même, les plantules issues des semences conditionnées dans les sachets en aluminium sont plus vigoureuses que celle issues des semences conditionnées dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène tout au long du temps de conservation des semences (6 mois). La perméabilité de ces deux derniers matériels de conditionnement à l'air et à l'humidité serait à l'origine du vieillissement et de la perte de la viabilité accélérés des semences qui y sont conditionnées.

Summary

Germination and Seedling Development from Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seeds following Storage in Different Packaging Materials
A study on the germination and seedling development from pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds following storage in different packaging materials was carried out at the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Njombe Multipurpose Research Station in Cameroon. Germination tests were conducted at 30 days intervals during 24 weeks of seed conservation in the laboratory at ambient temperature. Seeds were prepared from 4 pepper varieties (Safi, Big sun, Thaïlande and Local) and stored in 5 packaging materials (glass vial, plastic vial, laminated aluminium foil packet, paper and plastic envelope). The experiment was laid out in a 4 x 5 factorial design (4 varieties of pepper x 5 packaging materials) making 20 treatments in 5 replications. At each germination test, germinated seeds were counted everyday during 15 days. To estimate seedling development, 5 seedlings from each pepper variety issued from each packaging material was grown during each germination test in a polythene bag filled with local topsoil. Each sample was repeated 10 times. Thirty days after sowing, observations were made on seedling development parameters. The results obtained show that germination rate is higher immediately after seed preparation for all pepper varieties. Thereafter germination rate declines slowly when seeds are stored in laminated aluminium foil packets and rapidly when they are stored in paper and polythene envelopes. The other packaging materials occupy intermediary positions. Also, seedlings issued from seeds stored in laminated aluminium foil packets are more vigorous than those issued from seeds stored in paper and polythene envelopes during seed conservation period (6 months). The rapid loss of viability in pepper seeds stored in the two last packaging materials could be attributed to their permeability to air and humidity which accelerates seed ageing and deterioration.

¹Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Recherche de Njombé, BP 13, Njombé, Cameroun. <segnoujean@yahoo.fr>

²Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, BP 812, Yaoundé, Cameroun. <aakoa08@gmail.com>

³Département de Biologie et Physiologie Végétales, Laboratoire de Biotechnologie et Environnement, Unité de Physiologie et Amélioration végétale, Université de Yaoundé I, BP 812, Yaoundé, Cameroun. <youbi_emmanuel@yahoo.fr>

Reçu le 06.07.11 et accepté pour publication le 30.11.11.

Introduction

Les cultures horticoles des zones rurales, périurbaines et urbaines constituent une source dynamique de nourriture et de revenus dans de nombreuses villes africaines. Le piment, en particulier, est une plante polyvalente utilisé soit comme épice, soit comme légume-fruit dans la plupart des mets (1). Les piments très piquants provoquent une forte salivation, participent à la digestion et ont un effet laxatif. La capsaïcine, principe actif du piment, stimule les muqueuses de la bouche, de l'estomac et des intestins, provoquant de forts mouvements péristaltiques (11). En raison de l'importance que joue le piment sur les plans médical, alimentaire et économique, il est indispensable qu'une attention toute particulière soit accordée à la conservation des semences de cette plante, en vue d'assurer la régénération végétale d'une campagne agricole à une autre. Le vieillissement des semences et la perte de la capacité de germination ne peuvent pas être stoppés, mais ils peuvent tout au moins être retardés par des conditions appropriées de conservation. Les deux facteurs environnementaux les plus importants et inter-dépendants qui influencent la perte de germination sont l'humidité relative (HR), qui contrôle la teneur en eau de la semence, et la température de conservation; plus ces facteurs sont élevés, plus rapidement les semences se détériorent. A une température et une humidité données, la longévité des semences peut aussi dépendre du matériel de conditionnement choisi. Les matériels de conditionnement les plus couramment utilisés sont: verre, papier, film en aluminium, film en polyéthylène, tissu, sac en jute avec ou sans doublure plastique (6). Bien que la conservation des semences dans des boîtes serties, du verre ou des sachets en aluminium garantisse une longue conservation des semences en raison de leur inaccessibilité à l'air et à l'eau, le plastique est le matériel le plus fréquemment utilisé car il est facilement disponible, bon marché et de manipulation aisée. Le papier est aussi couramment utilisé pour des conservations de courte durée, bien que n'offrant aucune protection aux variations d'humidité; lorsque le temps de conservation s'allonge, les semences qui y sont contenues sont exposées à l'infection par des champignons (17).

Le développement des plantules est l'une des composantes qui est connue comme étant inversement proportionnelle au vieillissement des semences (2, 9). Cette situation déplorable a été attribuée à certains dommages que subit l'embryon au cours du stockage des semences. Etant donné que des semences préparées à partir de différents cultivars peuvent subir différentes vitesses de vieillissement selon les différents matériels de conditionnement utilisés pour les conserver, la présente étude a été entreprise en vue d'examiner (i) l'effet de différents matériels de conditionnement sur la maintenance de la viabilité des semences de quatre variétés de piment

au cours de la conservation, et (ii) la relation entre l'âge de la semence et le développement des plantules de piment en pépinière.

Matériel et méthodes

Trois variétés sélectionnées de piment (Safi, Big sun, et Thaïlande) et une variété locale (témoin) ont constitué le matériel végétal utilisé pour cette expérience. Les variétés Safi et Big sun sont des cultivars à gros fruits rouges et jaunes respectivement. La variété Thaïlande et la variété locale ont des fruits de petites tailles. Des échantillons de fruits mûrs ont été prélevés dans la collection de piment maintenue *in vivo* à la station IRAD de Njombé au Cameroun. Ils étaient ensuite étiquetés, et conservés dans des seaux en plastique pendant 8 à 10 jours au laboratoire: ce processus avait pour objectif de parachever la maturation physiologique des graines. Leur extraction a été faite manuellement, suivie de rinçages successifs à l'eau de robinet. A la fin de cette opération, seules les graines propres restées au fond du récipient ont été séchées à l'ombre pendant 4 à 6 jours, jusqu'à un taux d'humidité de 10-12% (test fait à l'aide d'un humidimètre de marque *Dickey-John*). Par ailleurs, en vue d'examiner la viabilité des semences au cours du temps, on a utilisé 5 matériels de conditionnement différents: (i) boîtes en verre; (ii) boîtes en plastique; (iii) sachets en papier; (iv) sachets en polyéthylène; et (v) sachets en aluminium.

Dans ces différents matériels de conditionnement, on a introduit 50 g (1 500 graines environ) de semences de chacune des 4 variétés de piment, et on a fermé hermétiquement. Chaque échantillon était répété 10 fois, chacun correspondant aux différents intervalles de temps (1 mois) auxquels ils devraient être soumis au test de germination. Le dispositif expérimental était de type factoriel 4 x 5 (4 variétés de piment x 5 matériels de conditionnement des semences) soit 20 traitements en 5 répétitions.

A chaque test, on disposait pour chaque variété de piment, de 20 boîtes en plastique par répétition (soit 100 boîtes au total). Puis quelques graines étaient enterrées à 1 cm de profondeur dans chaque boîte remplie de terre superficielle locale stérilisée. Après le semis, l'arrosage était effectué chaque jour dans la serre. Pour qualifier la germination des semences, on a mesuré l'énergie germinative: ce test donne une idée de la vitalité des semences. Il exprime en % le nombre de graines qui lèvent dans un laps de temps relativement court (15 jours). Ce test est important pour le producteur qui peut ainsi estimer le nombre de semences aptes à constituer un lot homogène (2). Pour estimer le développement des plantules de piment issues des différents intervalles de conservation des semences, 4 à 5 semences de chaque variété de piment issues des différents

matériels de conditionnement ont été mises à germer dans des sachets en polyéthylène perforés remplis de terre superficielle bien fertile. Chaque échantillon était répété 10 fois. Après la germination (7 à 10 jours après le semis), on a procédé au démariage, pour ne laisser se développer qu'une seule plantule. Trente jours après le semis, les observations étaient faites sur la hauteur de la plantule (cm), le nombre de feuilles par plantule; ensuite, on a sélectionné 5 feuilles au niveau médian de chaque plantule, et on a noté par feuille: la longueur (cm) et la largeur (cm). On a procédé à l'analyse de régression quadratique en utilisant le logiciel statistique SAS pour obtenir des courbes linéaires suivant les différents matériels de conditionnement des semences.

Résultats

Viabilité des semences

Pour toutes les variétés de piment utilisées au cours de cette expérience, l'énergie germinative est élevée immédiatement après la préparation des semences. Mais une fois conservées dans les différents matériels de conditionnement, ces semences se comportent différemment suivant les variétés. Cependant, la perte du pouvoir germinatif est plus accélérée lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène pour toutes les variétés. A l'opposé, l'énergie germinative des semences est plus élevée pendant un temps de conservation plus long lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en aluminium. Les

boîtes en verre et les boîtes en plastique occupent des positions intermédiaires entre les deux groupes de matériels de conditionnement ci-dessus cités (Figures 1a, 1b, 1c, 1d). En général, les variétés Safi et Big sun perdent plus rapidement leur pouvoir germinatif au cours de la conservation des semences immédiatement après la préparation, les différents matériels de conditionnement ne permettant que de retarder un peu le vieillissement des semences. Ce vieillissement est presque total six mois après la conservation des semences, quel que soit le matériel de conditionnement utilisé. Au-delà de ce temps de conservation, le pourcentage de germination est pratiquement nul pour ces deux variétés.

Pour la variété Thaïlande et la variété locale, le pourcentage de germination des semences s'améliore d'ailleurs au cours des 2 à 3 premiers mois de conservation, et la viabilité demeure relativement non affectée pendant cette période de stockage de ce matériel végétal. Au-delà de cette période de conservation, l'effet défavorable de l'âge sur la viabilité des semences commence à se manifester. Vers la mise en place des trois derniers tests de germination, aux 5^e, 6^e et 7^e mois respectivement de conservation des semences, les différences de viabilité entre les différents matériels de conditionnement des semences sont significatives, la conservation étant meilleure dans les sachets en aluminium, et mauvaise dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène. Dans ces deux derniers matériels de conditionnement, des infections fongiques sont visibles sur les semences,

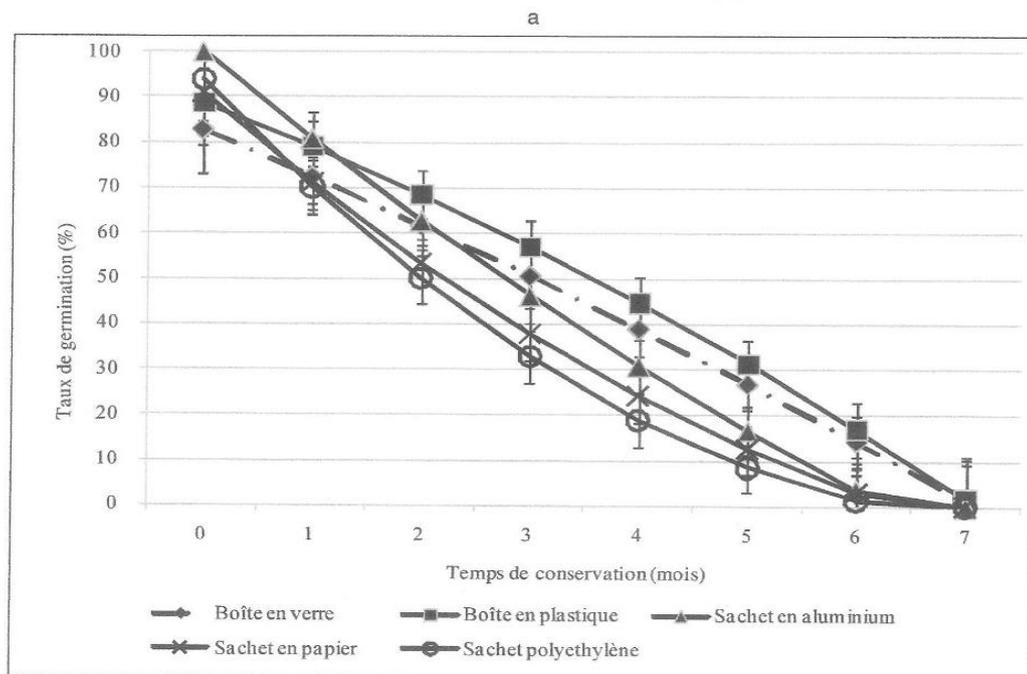


Figure 1: Effet du temps de conservation sur la viabilité des semences de piments (1a= Safi).

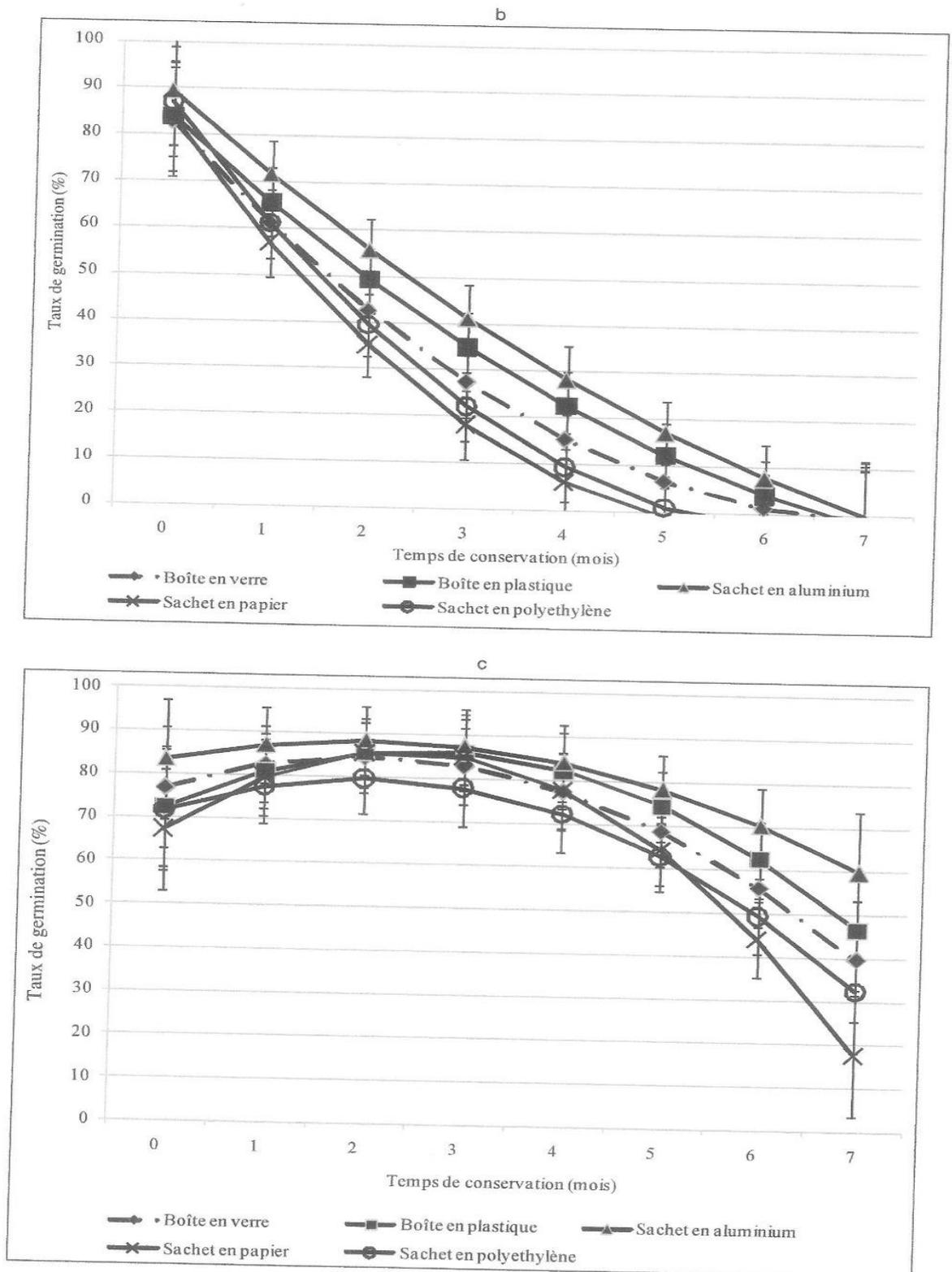


Figure 1: Effet du temps de conservation sur la viabilité des semences de piments (1b= Big sun; 1c= Thaïlande).

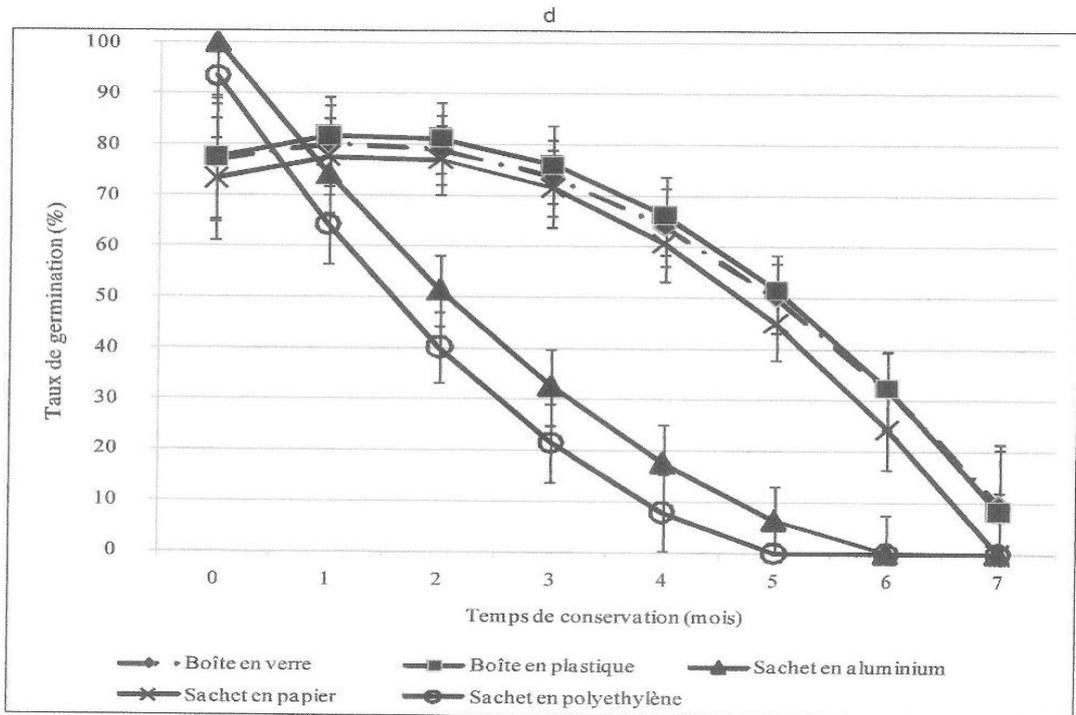


Figure 1: Effet du temps de conservation sur la viabilité des semences de piments (1d= Local).

probablement en raison de leur perméabilité à l'air et/ou à l'humidité. Les semences de la variété locale perdent presque totalement leur viabilité après 6 mois de conservation quels que soient les matériels de conditionnement considérés. Par contre, les semences de la variété Thaïlande continuent à conserver un certain degré de viabilité au-delà de ce temps de conservation.

Développement végétatif des plantules

Les paramètres du développement végétatif des plantules (hauteur de la plantule, nombre, longueur et largeur des feuilles) en général évoluent différemment avec le temps de conservation dans tous les matériels de conditionnement de semences.

Pour la variété Safi, des différences significatives entre les différents matériels de conditionnement de semences sont seulement obtenues entre le 1^{er} et le 2^e mois suivant la préparation des semences, les plantules issues des semences conditionnées dans les boîtes en plastique ayant les hauteurs les plus élevées (Tableau 1). Par contre, les plantules issues des semences conditionnées dans les sachets en aluminium ont les nombres de feuilles les plus élevés, et ces feuilles ont en même temps des dimensions (longueur et largeur) plus grandes. Les sachets en aluminium fournissent donc les plantules les plus vigoureuses, suivis par les sachets en papier; les sachets en polyéthylène donnent les plantules les moins vigoureuses.

Des différences significatives entre les différents matériels de conditionnement des semences, pour la variété Big sun sont obtenues entre le 1^{er} et le 3^e mois suivant la préparation des semences. En effet, les plantules issues des semences conditionnées dans des boîtes en verre ont les hauteurs les plus élevées pendant ce temps de conservation des semences. Par ailleurs, le nombre, la longueur et la largeur des feuilles évoluent plutôt positivement pendant ce temps de conservation des semences, les plantules issues des semences conditionnées dans des sachets en aluminium ayant le nombre le plus élevé. Entre le 3^e et le 6^e mois de conservation des semences, les paramètres du développement végétatif diminuent indépendamment du matériel de conditionnement des semences. Au-delà du 6^e mois de conservation, les semences de la variété Big sun perdent totalement leur viabilité.

Considérant la variété Thaïlande, des différences significatives sont également notées entre les différents matériels de conditionnement entre le 1^{er} et le 3^e mois suivant la préparation des semences. Ici, les plantules issues des semences conditionnées dans des boîtes en verre ont les tailles les plus élevées (12,5 à 13 cm). Les différents paramètres du développement végétatif évoluent positivement du 1^{er} au 3^e mois suivant la préparation des semences, les plantules issues des semences conditionnées dans les sachets en aluminium ayant les performances

Tableau 1
Développement végétatif des plantules de piment issues des semences conditionnées dans différents matériels

Variables	Variétés	Matériels de conditionnement	Temps de conservation des semences (mois)					
			0*	1	2	3	4	5
Hauteur moyenne de la plantule	Safi	A**	11,5 _b	11,3 _{ab}	11,1 _{ab}	8,5 _b	6,3 _c	5,2 _b
		B	12,4 _{ab}	12,0 _a	12,0 _a	8,7 _b	6,0 _c	4,9 _c
		C	12,2 _a	11,8 _{ab}	11,2 _{ab}	9,0 _{ab}	7,2 _{ab}	6,6 _b
		D	12,0 _{ab}	11,8 _{ab}	10,0 _{ab}	10,7 _{ab}	5,0 _c	4,3 _{bc}
		E	10,3 _{bc}	9,5 _b	10,5 _{ab}	9,2 _{ab}	6,0 _c	5,1 _b
	Big sun	A	12,2 _{ab}	12,0 _a	9,7 _b	7,0 _c	5,8 _c	5,2 _b
		B	10,8 _{bc}	10,5 _{ab}	10,4 _{ab}	9,2 _{ab}	5,5 _c	4,9 _{bc}
		C	11,2 _b	10,7 _{ab}	10,0 _{ab}	7,8 _c	5,4 _c	4,7 _{bc}
		D	11,8 _b	11,0 _{ab}	9,4 _b	9,0 _{ab}	5,0 _c	4,1 _{bc}
		E	10,7 _{bc}	10,2 _b	10,0 _{ab}	8,5 _b	4,9 _d	4,5 _{bc}
	Thaïlande	A	13,6 _a	13,1 _a	12,5 _a	12,0 _a	11,3 _a	10,5 _a
		B	12,4 _{ab}	11,2 _{ab}	10,8 _{ab}	10,3 _{ab}	10,8 _a	9,6 _a
		C	12,9 _{ab}	12,5 _a	11,6 _{ab}	11,1 _a	11,7 _a	10,0 _a
		D	12,5 _{ab}	12,3 _a	11,0 _{ab}	10,5 _{ab}	10,2 _a	9,8 _a
		E	13,1 _a	12,2 _a	12,0 _a	11,2 _a	10,2 _a	10,4 _a
	Local	A	10,2 _{bc}	9,0 _b	8,5 _b	8,0 _b	7,4 _b	6,2 _b
		B	9,6 _c	8,4 _b	8,2 _b	7,8 _c	6,3 _c	5,1 _b
		C	9,2 _c	8,6 _b	8,0 _a	8,2 _b	6,0 _c	4,8 _{bc}
		D	8,8 _c	8,5 _b	8,2 _b	8,0 _b	4,8 _a	3,6 _c
		E	9,1 _c	8,5 _b	8,7 _b	8,5 _b	5,6 _c	3,1 _c
Nombre moyen de feuilles par plantule	Safi	A	8,5 _{ab}	8,0 _{ab}	8,0 _a	7,0 _b	6,7 _c	5,2 _{bc}
		B	8,2 _{ab}	7,5 _b	7,0 _b	7,0 _b	6,5 _c	6,0 _b
		C	9,5 _a	9,0 _a	8,0 _a	7,0 _b	6,5 _c	4,6 _c
		D	8,8 _{ab}	8,6 _{ab}	8,0 _a	8,0 _a	6,7 _c	4,0 _c
		E	9,8 _a	9,0 _a	8,0 _a	8,0 _a	6,5 _c	5,2 _{bc}
	Big sun	A	8,2 _{ab}	7,5 _b	7,3 _b	7,0 _b	7,0 _b	6,2 _b
		B	9,2 _a	9,0 _a	8,5 _a	8,0 _a	6,8 _c	5,4 _{bc}
		C	9,4 _a	8,9 _{ab}	8,5 _a	8,0 _a	6,5 _c	4,8 _c
		D	8,5 _{ab}	8,0 _{ab}	7,5 _b	7,0 _b	6,0 _c	5,6 _{bc}
		E	8,0 _{ab}	7,9 _b	7,0 _b	7,0 _b	6,3 _c	5,4 _{bc}
	Thaïlande	A	9,4 _a	9,0 _a	8,6 _a	8,0 _a	7,8 _b	6,0 _b
		B	8,5 _{ab}	8,2 _{ab}	8,0 _a	7,9 _b	7,8 _b	7,2 _{ab}
		C	8,0 _{ab}	8,0 _{ab}	7,0 _b	8,0 _a	8,5 _a	8,0 _a
		D	9,0 _a	9,0 _a	8,9 _a	8,0 _a	8,0 _a	7,2 _{ab}
		E	9,6 _a	9,0 _a	8,0 _a	8,6 _a	8,5 _a	6,6 _b
	Local	A	8,5 _{ab}	8,0 _{ab}	8,0 _a	7,0 _b	7,5 _b	6,5 _b
		B	8,9 _{ab}	8,0 _{ab}	8,0 _a	7,0 _b	7,8 _b	5,8 _{bc}
		C	8,4 _{ab}	7,8 _b	7,6 _b	7,0 _b	6,2 _c	5,2 _{bc}
		D	7,5 _b	6,0 _c	6,0 _c	7,0 _b	6,3 _c	6,0 _b
		E	7,7 _b	7,0 _b	8,0 _a	8,0 _a	6,5 _c	6,3 _b
Longueur moyenne de la feuille	Safi	A	11,0 _a	10,8 _a	7,1 _b	7,0 _a	5,7 _{ab}	5,0 _{ab}
		B	9,1 _b	8,6 _b	7,5 _b	6,5 _b	5,7 _{ab}	5,5 _{ab}
		C	9,7 _b	9,5 _{ab}	9,5 _a	6,2 _b	6,1 _a	6,0 _a
		D	8,2 _{bc}	7,9 _{bc}	7,3 _b	7,5 _a	4,2 _b	3,9 _c
		E	8,8 _{bc}	8,8 _b	8,4 _{ab}	7,3 _a	5,9 _{ab}	5,4 _{ab}
	Big sun	A	8,2 _{bc}	7,6 _{bc}	7,5 _b	6,3 _b	6,2 _a	6,0 _a
		B	9,0 _b	8,6 _b	8,2 _{ab}	7,6 _a	5,9 _{ab}	4,4 _b
		C	9,8 _b	9,5 _{ab}	9,8 _a	7,5 _a	5,8 _{ab}	4,5 _b
		D	8,6 _{bc}	7,9 _{bc}	7,5 _b	6,0 _b	5,3 _{ab}	5,0 _{ab}
		E	8,8 _{bc}	8,2 _b	6,7 _c	7,1 _a	4,9 _b	4,5 _b

	Thaïlande	A	9,8 _b	9,7 _{ab}	9,2 _a	6,6 _b	5,6 _{ab}	4,6 _b
		B	8,0 _{bc}	7,7 _{bc}	7,3 _b	6,5 _b	4,8 _b	5,0 _{ab}
		C	8,5 _{bc}	8,5 _b	7,1 _b	7,6 _a	5,2 _{ab}	4,4 _b
		D	9,0 _b	8,7 _b	8,1 _{ab}	6,0 _b	4,9 _b	4,2 _b
		E	7,8 _c	7,8 _{bc}	7,5 _b	7,2 _a	5,4 _{ab}	4,6 _b
	Local	A	7,0 _c	5,9 _c	5,6 _c	6,8 _b	5,5 _{ab}	3,4 _c
		B	6,8 _c	5,6 _c	6,2 _b	6,2 _b	5,7 _{ab}	3,8 _c
		C	7,0 _c	6,7 _c	6,5 _c	6,2 _b	6,0 _a	4,6 _b
		D	6,9 _c	6,7 _c	5,2 _c	6,0 _b	5,2 _{ab}	5,0 _{ab}
		E	7,2 _c	6,8 _c	6,8 _c	6,3 _b	4,6 _b	4,0 _b
Largeur moyenne de la feuille	Safi	A	9,2 _a	9,0 _a	6,5 _b	6,3 _a	3,7 _b	2,8 _c
		B	7,5 _b	7,4 _b	6,4 _b	5,3 _b	4,4 _a	4,2 _a
		C	8,0 _{ab}	7,4 _b	7,9 _{ab}	5,0 _b	4,6 _a	4,1 _a
		D	7,1 _b	6,6 _{bc}	6,1 _b	6,6 _a	3,4 _b	3,1 _b
		E	7,5 _b	7,4 _b	6,6 _b	6,3 _a	4,4 _a	3,2 _b
	Big sun	A	7,4 _b	7,0 _b	6,4 _b	5,3 _b	4,4 _a	3,3 _b
		B	7,2 _b	6,4 _{bc}	6,9 _b	6,1 _a	4,5 _a	3,9 _b
		C	8,2 _{ab}	8,3 _{ab}	8,1 _a	6,6 _a	4,0 _a	3,2 _b
		D	7,2 _b	6,9 _{bc}	6,9 _b	5,6 _b	4,0 _a	3,6 _b
		E	7,0 _b	7,1 _b	6,3 _b	6,1 _a	3,8 _b	3,2 _b
	Thaïlande	A	7,5 _b	6,6 _{bc}	7,4 _{ab}	6,0 _a	1,9 _c	2,0 _c
		B	6,0 _{bc}	5,4 _c	5,9 _{bc}	5,5 _b	1,9 _c	1,8 _c
		C	7,0 _b	6,8 _{bc}	6,5 _b	6,5 _b	2,0 _c	1,3 _c
		D	6,8 _{bc}	6,6 _{bc}	6,2 _b	5,5 _b	2,0 _c	1,5 _c
		E	5,8 _c	5,5 _c	5,3 _{bc}	4,3 _c	2,4 _c	2,1 _c
	Local	A	5,7 _c	5,6 _c	4,7 _c	5,2 _b	4,3 _a	3,5 _b
		B	4,9 _c	4,4 _c	5,8 _{bc}	5,6 _b	3,4 _b	2,8 _c
		C	5,8 _c	4,1 _c	5,4 _{bc}	5,5 _b	4,4 _a	3,5 _b
		D	6,5 _{bc}	6,0 _{bc}	5,0 _{bc}	5,2 _b	3,2 _b	3,0 _b
		E	6,0 _{bc}	5,8 _c	5,7 _{bc}	5,4 _b	3,5 _b	3,0 _b

Pour chaque variable, les valeurs suivies des mêmes lettres dans la colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité $P=5\%$.

*: Observations faites immédiatement après la préparation des semences.

** : A= Boîte en verre; B= Boîte en plastique; C= Sachet en papier; D= Sachet en polyéthylène; E= Sachet en aluminium.

les plus élevées. A l'opposé, les plantules issues des semences conditionnées dans des sachets en papier et des sachets en polyéthylène ont les performances les plus faibles. Au-delà du 3^e mois de conservation dans les différents matériels de conditionnement des semences, un déclin notable est observé au niveau de tous les paramètres du développement végétatif, jusqu'à l'âge de 6 mois où la perte de viabilité est observée chez la plupart des semences.

Des différences significatives sont également observées entre les différents matériels de conditionnement des semences pour la variété locale, entre le 1^{er} et le 2^e mois suivant la préparation des semences. Les plantules issues des semences conditionnées dans les boîtes en verre ont les tailles les plus élevées (9 cm), et celles issues des semences conditionnées dans les sachets en polyéthylène les plus faibles (6,5 cm). Les paramètres du développement végétatif évoluent positivement du 1^{er} au 3^e mois après la préparation des semences, où le pic du nombre de feuilles est obtenu chez les plantules issues des semences conservées

dans des boîtes en verre (8 feuilles). Entre le 3^e et le 6^e mois de conservation des semences, les différents paramètres du développement végétatif déclinent drastiquement, particulièrement la longueur et la largeur des feuilles, pour s'annuler vers le 6^e mois de conservation des semences lorsque celles-ci perdent totalement leur viabilité.

Discussion

L'évolution de la viabilité des semences de piment pendant les 2 et 3 premiers mois de conservation (variétés Thaïlande et locale) au cours de cette expérience n'est pas un phénomène inconnu. En effet, il a été rapporté que les semences de piment fraîchement préparées possèdent un niveau de dormance (13, 14); pour ces semences, la dormance est spontanément levée au cours de la période de conservation (5).

Par ailleurs, cette étude a révélé que les semences de piment gardent plus longtemps leur viabilité lorsqu'elles sont conditionnées dans des sachets en

aluminium thermoscellables. Il a aussi été rapporté que les performances offertes par les sachets en polyéthylène en matière de conservation des semences sont supérieures à celles offertes par les sachets en papier: cette supériorité proviendrait du fait que les sachets en polyéthylène, facilement disponibles et bon marché, sont en plus imperméables à l'humidité lorsqu'ils sont bien scellés à la chaleur, alors que les sachets en papier sont plus perméables à l'air et à l'humidité ambiante, donc ne se prêtent qu'à une conservation de semences pendant une durée de temps relativement plus courte (10). Mais cette étude montre que cette assertion n'est pas toujours vérifiée, étant donné que les semences de piment préparées à partir des cultivars Safi, Thaïlande et Local et conditionnées dans des sachets en polyéthylène n'ont pas conservé leur viabilité plus longtemps que celles conditionnées dans les sachets en papier. Ces observations coïncident avec celles faites par d'autres auteurs (8) qui avertissaient que plusieurs types de sachets en polyéthylène ne sont pas imperméables à l'humidité. Il a été rapporté (18) que la température élevée couplée à la faible quantité d'eau produite au cours de la respiration sont susceptibles d'élever la température ambiante autour d'un lot de semences, et par voie de conséquence, affecter de façon significative leur viabilité. De plus, la réduction de l'énergie germinative des semences peut résulter d'une invasion de microorganismes (champignons) au cours de la conservation, phénomène déjà rapporté par d'autres auteurs (4). Au cours de cette étude, des développements fongiques responsables du changement de couleur avaient été observés chez certaines semences de piment (Safi et Big sun) conditionnées dans des sachets en polyéthylène. Comme le polyéthylène est relativement imperméable à l'eau, la condensation de l'humidité et de la température pourrait par conséquent être à l'origine des infections fongiques observées, accompagnée de la rapide perte concomitante de la viabilité (18), comparée à un matériel de conditionnement de semences plus poreux tel le sachet en papier, qui ne peut permettre ce type de condensation des facteurs micro-climatiques.

Les taux croissants d'énergie germinative observés immédiatement après la préparation des semences (variété Thaïlande et variété locale) pourrait être attribués à la présence de certaines semences qui étaient légèrement ou partiellement dormantes, et qui par conséquent ont germé après un temps relativement plus long. Ce phénomène avait déjà été rapporté par d'autres auteurs (6, 12). Une telle dormance partielle peut être levée avec le temps de conservation, rendant ainsi ces semences prêtes

à la germination lorsqu'elles sont placées dans des conditions favorables. En effet, la germination des semences de piment serait soumise à un contrôle hormonal, comme d'ailleurs rapporté par d'autres auteurs (3, 6). Par ailleurs, l'acide gibbérélique (GA) est reconnu avoir la propriété d'accélérer la germination des semences de piment (15).

L'évolution progressive de facteurs de développement (hauteur de la plantule, nombre, longueur et largeur des feuilles) des plantules de piment, après 2 à 3 mois de conservation dans différents matériels de conditionnement des semences suggère que les semences de piment devraient poursuivre leur maturation à l'intérieur du fruit mûr après la récolte de ce dernier au champ, en vue de parachever la maturation physiologique des semences d'une part, et de favoriser une germination ultérieure rapide des semences et un développement vigoureux des plantules d'autre part. Cette pratique agronomique avait déjà été rapportée par d'autres auteurs (16). A l'inverse, lorsque la maturation des semences n'est pas parachevée à l'intérieur du fruit, les plantules issues de ces semences ont tendance à avoir une vitesse de croissance fortement ralentie en pépinière. Ce comportement avait déjà été rapporté par d'autres auteurs (15) qui ont montré que l'acide gibbérélique stimulait le développement des plantules chez le piment. Il n'est donc pas impossible que le développement harmonieux des plantules de piment observé au cours de cette expérience après la conservation dans différents matériels de conditionnement des semences, soit imputable à l'évolution du niveau des promoteurs de la croissance ou à la réduction du niveau des inhibiteurs de croissance au cours de cette conservation.

Conclusion

Les semences de piment se conservent mieux dans des sachets en aluminium, et moins dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène. Lorsque les sachets en aluminium ne sont pas disponibles, on peut avoir recours aux boîtes en verre ou en plastique vissables hermétiquement. Les sachets en papier ou en polyéthylène ne doivent être sollicités que pour une conservation à moyen terme (ne dépassant pas 3 mois). L'utilisation des semences issues des fruits fraîchement récoltés est à éviter, si une énergie germinative élevée des semences et un développement vigoureux des plantules doivent être garantis; des stocks de semences de piment conservés depuis plus de 4 mois ne devraient pas être choisis pour la mise en place d'une pépinière, car l'énergie germinative ainsi que le développement des plantules issues de ces semences sont médiocres.

Références bibliographiques

1. Bosland P. & Votara E.J., 2001, Peppers: vegetable and spice *capsicums*. NW State University, USA. CABI Publishing, Wallingford, UK. 216 p.
2. Boucherin D. & Bron G., 1989, Multiplication de plantes horticoles. Techniques et Documentation. Edition Lavoisier, Paris, France. 113 p.
3. Byrd H.H., 1970, Effect of deterioration of soyabean seed on storability and field performance. PhD Thesis. Mississippi State University, USA.

4. Demir I. & Ellis R.H., 1992, Development of pepper (*Capsicum annuum*) seed quality. *Annals of Applied Biology*, 121, 385-399.
5. Dorworth E. & Christensen M., 1968, Influence of moisture content, temperature and storage time upon changes in fungus flora germinability and fat acidity values of soybeans. *Phytopathology*, 58, 1457-1459.
6. Ellis R.H., Hong T.D. & Roberts E.H., 1983, Procedure for safe removal of dormancy from rice seeds. *Seed Science and Technology*, 11, 72-112.
7. Ellis R.H., Hong T.D. & Roberts E.H., 1985, Handbook on seed technology for genebanks. International Board for plant Genetic Resources (IBPGR), Volume 1, 210 p.
8. FAO/IBPGR, 1994, Genebank Standard. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. International Board for Plant Genetic Resources Institute, Rome.
9. Grabe D.F., 1965, Prediction of relative storability of corn seedlots. *Proceeding of the Association of Official Seed Analysts (AOSA)*, 55, 92-96.
10. Grabe D.F. & Isely D., 1969, Seed storage in moisture resistant packages. *Seed World*, 104, 2-5.
11. Grubben G.J.H. & El Tahir I.M., 2004, *Capsicum annuum* L. In: Grubben G.J.H. & Denton O.A. (Editeurs). PROTA 2/ Vegetables/Légumes. PROTA, Wageningen, Pays-Bas. 19 p.
12. Idemir & Gokcu, 2005, Effect of postharvest maturation treatment on germination and potential longevity of pepper (*Capsicum annuum*) seeds. *Indian Journal of Agricultural Science*, 75, 19-22.
13. Oladiran J.A. & Ogunbiade S.A., 2000, Germination and seedling development from pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds following storage in different packaging materials. *Seed Science and Technology*, 28, 413-419.
14. Randle W.M. & Honma S., 1981, Dormancy in peppers. *Scientia Horticulturae*, 14, 19-25.
15. Sosa-Coronel J. & Motes J.E., 1982, Effect of Gibberelic acid and seed rate on pepper seed germination in aerated water columns. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 107, 290-295.
16. Sundstrom F.J. & Edwards R.L., 1989, Pepper seed respiration, germination, and seedling development following seed priming. *HortScience*, 24, 2, 343-345.
17. Tene F.D., Ravalo J.B. & Rodda E.D., 1978, Changes in viability and micro-flora of soyabean seeds stored under various conditions. *Puerto Rico University Bulletin*, 62, 255-264.
18. Thomson J.R., 1979, An introduction to seed technology. Thomson Litho Ltd, East Kilbride, Scotland, 251 p.

J. Segnou, Camerounais, Ingénieur agronome, DEA, Chercheur (Grade de Chargé de Recherche) à IRAD, Station Polyvalente de Njombé, Cameroun.

Amougou Akoa, Camerounais, Doctorat d'état, Professeur et Chef du Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, Cameroun.

E. Youmbi, Camerounais, Doctorat, HDR, Maître de Conférences au Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, Cameroun.

EFFET DE LA FERTILISATION MINERALE ET ORGANIQUE SUR LE RENDEMENT EN FRUITS DU PIMENT (*Capsicum annuum* L.; SOLANACEAE) EN ZONE FORESTIERE DE BASSE ALTITUDE AU CAMEROUN

J. SEGNOU¹, A. AKOA², E. YOUNBI² et J. NJOYA¹

¹Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Recherche de Njombé,
BP 13 Njombé, Cameroun. E-mail : segnoujean@yahoo.fr

²Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, BP 812 Yaoundé, Cameroun.

RESUME

Une étude sur la fertilisation minérale et organique et le rendement en fruits du piment (*Capsicum annum* L.) a été menée au Cameroun. Trois types d'engrais simples : l'urée (46 %N), superphosphate simple (16 % P₂O₅) et le sulfate de potassium (48 % K₂O) ont été utilisés seuls, ou en combinaison deux à deux. Puis, une formulation d'engrais composé NPK (19-4-16) a été conçue en vue d'optimiser les rendements. Des fientes de poulet ont été utilisées comme engrais organique. Au cours du développement des plants, la hauteur de la plante, la largeur de la canopée, l'intervalle plantation-floraison, la durée floraison-fructification, le nombre et le poids de fruits récoltés ont été mesurés. Les résultats montrent que NPK (19-4-16), épanchée 4 fois au cours du cycle, a eu des effets hautement significatifs sur tous les paramètres de développement. Des différences significatives ont également été enregistrées lorsque NPK a été épanchée 3 ou 4 fois au cours du cycle. NPK épanchée 4 fois, en dispersion régulière sous la frondaison, a donné des rendements plus importants. Ce dernier traitement a généré les meilleurs revenus et les rapports bénéfice-coûts. La fertilisation organique a entraîné un rendement et un rapport bénéfice-coût bien meilleurs aux nombreux traitements d'engrais minéraux.

Mots clés : *Capsicum annum* L., engrais, formulation, fertilisation.

ABSTRACT

EFFECT OF MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION ON PEPPER FRUITS YIELD (*Capsicum annum* L.; SOLANACEAE)
IN THE LOW ALTITUDE FOREST ZONE IN CAMEROON.

A study on the effect of mineral and organic fertilizations on fruits yield of pepper (*Capsicum annum* L.) was carried out in Cameroon. Three types of fertilizers: urea (46 %N), single superphosphate (16 %P₂O₅), and potassium sulphate (48 %K₂O) were used alone, or in combination with each other and a bulk fertilizer NPK (19-4-16) was also formulated in order to optimize fruit yield. Poultry manure was used as organic fertilizer. During crop growth, plant height, canopy width, planting-flowering interval, flowering-fruiting period and the number and weight of fruits harvested were measured. The results show that bulking of the 3 single fertilizers, applied 4 times during the cropping period produced highly significant effects on all plant growth parameters. Significant differences were also observed on parameters of reproduction when NPK was applied 3 to 4 times during the cropping period. Furthermore, NPK, regularly broadcasted 4 times under plant canopy, gave the highest fruit yield. This latest treatment yielded the highest income and benefit-cost ratio. The organic fertilization had a higher fruit yield and higher benefit-cost ratio than many chemical fertilizer treatments.

Key words : *Capsicum annum* L., fertilizer, formulation, fertilization.

INTRODUCTION

De multiples espèces de légumes sont exclusivement produites dans les jardins domestiques en Afrique pour servir de source stable et souvent abondante de nourriture à leurs cultivateurs. A l'exception de quelques unes (tomate, chou, laitue, pastèque, etc.), considérées comme des cultures commerciales, les pouvoirs publics n'accordent que peu d'importance à ce type de plantes, les reléguant même au rang de «cultures mineures». En effet, elles n'entrent pas dans la catégorie des aliments de base et jusqu'à récemment, la plupart des pays africains ont concentré leurs efforts de recherche sur les cultures vivrières dites «majeures» (maïs, manioc, etc.) ou les cultures commerciales possédant un potentiel d'exportation important (cacao, café, etc.). Dans ce contexte, le piment (*Capsicum annuum* L.; Solanaceae), en particulier, a été systématiquement classé dans la catégorie des «cultures mineures» (Schippers, 2004). La capsaïcine, principe actif du piment, relève le goût des aliments et stimule les muqueuses de la bouche, de l'estomac et des intestins, provoquant de forts mouvements péristaltiques (Grubben et El Tahir, 2004). Qu'ils soient frais, séchés ou transformés, les piments sont des produits répandus sur tous les marchés ruraux, urbains et régionaux. Même si le commerce international de piments frais ou séchés se trouve encore au stade de balbutiement, cet épice est devenu l'une des principales cultures de diversification des exportations au Cameroun (PDEA, 2000).

La culture du piment en Afrique est habituellement effectuée dans de petites exploitations individuelles sur des parcelles variant de 0,5 à 1,2 ha. Ce qui pose le problème de la dégradation de la fertilité des sols dans un système d'exploitation traditionnelle où les efforts de restauration des capacités nutritives sont relégués au second plan. La plus grande partie des superficies de piment fort en Afrique tropicale est donc cultivée de façon extensive dans un système cultural à faibles intrants. Or, l'usage judicieux et plus intensif des engrais chimiques est reconnu comme nécessaire pour accroître rapidement les rendements agricoles (Defoer *et al.*, 2000). Aussi, les engrais organiques seuls ou additionnés d'équivalents minéraux ont une influence positive sur la croissance et la productivité du piment (Celik *et*

al., 2004). Autour de cette filière horticole en pleine expansion au Cameroun, l'augmentation de la production est envisageable soit par l'accroissement agraire des superficies cultivées, soit par intensification des productions sur des superficies réduites.

Dans cette étude, nous nous proposons d'augmenter la production du piment au Cameroun par densification des rendements sur des surfaces réduites. Ce travail a donc pour objectifs de déterminer les effets des formulations, des doses d'épandage, des modes d'épandage, et le bilan économique d'engrais minéraux et organiques sur l'augmentation du rendement en fruits frais du piment. L'objectif général visé est d'augmenter de façon significative et durable les rendements en fruits frais du piment dans la zone forestière de basse altitude du Cameroun. Ce qui pourrait aboutir à la conquête des parts de marché au niveau local, sous-régional ou mondial.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL

Deux variétés de piment : Safi et Big sun ont été utilisées. Ce sont des variétés à gros fruits rouges et jaunes respectivement à la maturité. En pépinière, les semences ont d'abord été germées dans des caissettes en plastique et les plantules élevées jusqu'au stade 3 - 4 feuilles ; puis elles ont été transplantées dans des sachets en plastique perforés à la base, de contenance 0,25 l (12 cm x 15 cm), et préalablement remplis de terre superficielle. L'arrosage était maintenu quotidiennement, et les plants de piment étaient prêts pour la mise en place effective de l'essai lorsqu'ils avaient 15 - 20 cm de hauteur.

Trois types d'engrais simples ont aussi été utilisés, à savoir : l'urée (46 % N) ; le superphosphate simple (16 % P₂O₅) ; et le sulfate de potassium (48 % K₂O). La fiente de poule sèche (12 % matière sèche) était utilisée pure comme engrais organique. Sa teneur minimum (% de la matière sèche) était de 2,0 N ; 2,2 P₂O₅ ; 1,3 K₂O ; 4,0 CaO ; 1,0 MgO et 2,0 SO₂. L'expérience a été conduite simultanément en trois phases distinctes mais complémentaires à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station Polyvalente de Njombe, au Cameroun.

METHODES

Expérience 1 : Effet des formulations d'engrais sur le rendement en fruits du piment

Le dispositif expérimental était de type factoriel 2 x 9 (2 variétés de piments-Safi et Big sun- x 9 formulations fertilisantes), soit 18 traitements en 4 répétitions. Ces traitements étaient composés ainsi qu'il suit (Tableau 1).

Ainsi, chaque type d'engrais a été épandu en dispersion régulière sous la frondaison à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation, au cours des cycles végétatif et reproductif des plants de piment ; soit, par exemple, 150 kg/ha U + 80 kg/ha P + 120 kg/ha K = 350 kg/ha (35 g/plant) NPK 19-4-16 (T7), ou 100 kg/ha (10 g/plant) de fiente (T8), à chacun des 4 épandages.

Expérience 2 : Effet des doses d'épandage sur le rendement en fruits du piment

Le dispositif expérimental était de type factoriel 2 x 5 (2 variétés de piment x 5 doses d'épandage d'engrais minéraux et organique), soit 10 traitements en 4 répétitions. En raison du caractère ternaire de l'engrais utilisé par les jardiniers locaux pour accroître les rendements, la formulation d'engrais minéral du traitement T7, et celle d'engrais organique T8 ont été utilisées, aux doses suivantes : T10 : 1 x 350 NPK ; T11 : 2 x 350 NPK ; T12 : 3 x 350 NPK ; T13 : 4 x 350 NPK ; T14 : Identique à T8 de l'expérience 1. Témoin : Identique à T9 de l'expérience 1.

Ainsi, chaque type d'engrais a été épandu en dispersion régulière sous la frondaison à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation, au cours des cycles végétatif et reproductif des plants de piment.

Expérience 3 : Effet des modes d'épandage sur le rendement en fruits du piment

Le dispositif expérimental était de type factoriel 2 x 5 (2 variétés de piment x 5 modes d'épandage d'engrais minéraux et organique), soit 10 traitements en 4 répétitions. Ici, les formulations d'engrais minéral du traitement T7 et de l'engrais organique du traitement T8 ont

encore été utilisées. Aussi, les doses d'épandage d'engrais minéral et organique ont été celles des traitements T13 (4 x 350 kg/ha de NPK) et T14 (4 x 100 kg/ha de fiente) respectivement. Les traitements additionnels spécifiques étaient : T15 : 4 x 350 NPK, en deux points (à gauche et à droite) du plant ; T16 : 4 x 350 NPK, en deux bandes (à gauche et à droite) de la ligne des plants ; T17 : 4 x 350 NPK, en dispersion régulière sous la frondaison ; T18 : 4 x 350 NPK, en couronne tout autour du plant ; T19 : Identique à T14 de l'expérience 2, et en dispersion régulière sous la frondaison ; Témoin : Identique à T9 de l'expérience 1. De même, chaque mode d'épandage d'engrais a été effectué à 2, 6, 10 et 14 semaines après la transplantation, au cours des cycles végétatif et reproductif des plants de piment.

La taille parcellaire était de 3 m x 3 m (4 lignes de 3 m de long et 4 plants par ligne, soit 16 plants par parcelle expérimentale). Les écartements entre les plants étaient de 1 m x 1 m (soit une densité de plantation de 10 000 plants/ha). En vue de réduire la pression parasitaire récurrente pour la culture du piment, on a utilisé à chaque traitement 2 kg/ha de Trimangol® 80 WP (matière active : 800 g/kg de mancozèbe ; fongicide utilisé à la dose de 40 g de poudre mouillable par pulvérisateur à dos de 15 l), et 2 l/ha de Cypercal® 50 EC (matière active : 50 g/l de cyperméthrine ; insecticide utilisé à la dose de 30 ml de concentré émulsifiable par pulvérisateur à dos de 15 l) ; 10 traitements phytosanitaires au total ont été réalisés entre la transplantation et la fin de la récolte des fruits. Les observations ont été faites sur : la hauteur de la plante (cm) et la largeur de la canopée (cm) - ces deux paramètres de croissance végétative ont été observés après la nouaison des premiers fruits ; à ce stade, les organes végétatifs sont au maximum de leur développement ; l'intervalle plantation-floraison (nombre de jours entre la transplantation et la floraison, cette dernière étant considérée comme la période à laquelle 50 % des plants ont au moins une fleur ouverte) ; la durée floraison-fructification (nombre de jours entre la floraison et la fin de la récolte) ; le nombre et le poids (g) de fruits mûrs récoltés.

L'analyse de la variance (ANOVA) a été faite avec le logiciel statistique SAS, et lorsque les différences étaient significatives (P = 5 %), les moyennes ont été séparées par le Test de Student Newman-Keuls.

Tableau 1 : Les différentes formulations d'engrais utilisées au cours de l'expérience.
The different fertilizers formulations used during the experiment.

Type de traitements	Formulations
T1	150 kg/ha N
T2	80 kg/ha P
T3	120 kg/ha K
T4	150 kg/ha U + 80 kg/ha P
T5	150 kg/ha U + 120 kg/ha K
T6	80 kg/ha P + 120 kg/ha K
T7	150 kg/ha N + 80 kg/ha P + 120 kg/ha K (soit 350 kg/ha NPK)
T8	100 kg/ha de fiente
T9	Témoin (sans engrais)

Analyse économique des traitements

Les charges de production suivantes ont été prises en considération : l'achat des engrais chimiques et organiques, l'achat des pesticides, la main-d'œuvre (conduite de la pépinière, préparation du terrain, transplantation, travaux d'entretien du champ et récoltes de fruits mûrs répétées hebdomadairement). Le coût des engrais minéraux est celui appliqué sur le marché local de Njombé au Cameroun, au moment de la conduite de cette expérience (18 000 FCFA/sac de 50 kg), ainsi que celui de la fiente de poule sèche (2 500 FCFA/sac de 20 kg). Le coût des produits phytosanitaires a été celui appliqué dans les magasins de Njombé à cette même période : 3 500 FCFA/sachet de 1 kg de Trimangol® 80 WP (matière active : 800 g/kg de mancozèbe) et 6 000 FCFA/litre de Cypercal® 50 EC (matière active : 50 g/l de cyperméthrine). Les enquêtes faites auprès des horticulteurs locaux ont révélé qu'une main-d'œuvre estimée à 800 hommes-jours est requise pour conduire un hectare de piment du germe à la fin de la récolte des fruits (8 mois), à raison de 1 500 FCFA/homme-jour. Sur le marché local camerounais, le seau en plastique de 15 litres est l'unité de mesure pour la commercialisation du piment. Il contient environ 750 fruits, pèse 5 kg et coûte 5 000 FCFA. Enfin, le rapport bénéfice-coût (r) indiquant le bénéfice attendu pour 1 FCFA investi dans la production du piment a été calculé.

RESULTATS

EFFET DES FORMULATIONS D'ENGRAIS SUR LE RENDEMENT EN FRUITS DU PIMENT

Des différences significatives ont été notées au niveau des différents traitements, aussi bien pour les engrais simples que composés (Tableau 2). En effet, le traitement à l'azote uniquement (T1) a une influence positive sur les paramètres de croissance végétative tels que la hauteur de la plante (127,5 cm) et la largeur de la canopée (99,8 cm), mais un effet négatif sur les paramètres du développement reproductif tels que l'intervalle plantation-floraison (45,8 jours), la durée floraison-fructification (172,0 jours) et le nombre de fruits par plant au cours du cycle reproductif (80 fruits). Le rendement en fruits (327,3 g/pied) n'est d'ailleurs pas significativement différent de celui du témoin T9 (426,5 g/pied).

Le superphosphate simple (T2) et le sulfate de potassium (T3), seuls ou en combinaison avec l'urée (T4 et T5 respectivement) ont généré des rendements en fruits non significativement différents à ceux de la fertilisation organique (T8 : 721,8 g/plant) ou du témoin T9. Le nombre et le poids de fruits par plant pour le traitement T4 (urée + superphosphate simple) ont été supérieurs à ceux du témoin respectivement de 27 et 76 %. Mais le traitement T5 (urée + sulfate

de potassium) a produit des effets significatifs aussi bien sur les paramètres de croissance végétative tels la hauteur de la plante (96,8 cm) et la largeur de la canopée (122,0 cm), et du développement reproductif tels l'intervalle plantation-fructification (35 jours) et la durée floraison-fructification (205 jours), par rapport au témoin (T9).

La combinaison entre le superphosphate simple et le sulfate de potassium (T6) a engendré des effets positifs sur les paramètres du développement reproductif des plants de piment : le nombre de fruits (181,1 fruits/plant) et le poids de fruits par plant (957,7 g/plant) ont été 57 % et 124 % respectivement supérieurs mais pas significativement différents au témoin (T9). La combinaison NPK (T7) a eu des effets hautement significatifs sur les paramètres aussi bien végétatifs que reproductifs, tels que la largeur de la canopée (132,8 cm), l'intervalle

plantation-floraison (30,8 jours) et la durée de floraison-fructification (246,8 jours). Pour ce traitement à l'engrais composé NPK, le nombre et le poids de fruits par plante ont été 148 et 241 % respectivement supérieurs au témoin T9. Ils ont par ailleurs été 74 et 102 % respectivement supérieurs à la fertilisation organique à la fiente de poule sèche (T8). Toutefois, la fertilisation organique à la fiente de poule sèche n'a pas amélioré significativement les paramètres de croissance végétative et du développement reproductif des plants de piment par rapport au témoin (T9), même si elle a allongé quelque peu la durée floraison-fructification (169 j) par rapport au témoin n'ayant reçu aucun traitement fertilisant (159 j). A la fin de l'expérience 1, le classement des traitements selon leur influence positive sur le rendement en fruits est le suivant : T7 > T6 ≥ T4 ≥ T8 ≥ T3 ≥ T2 ≥ T9 ≥ T5 ≥ T1.

Tableau 2 : Effet des formulations d'engrais sur la croissance végétative et le développement reproductif des plants de piment.

Effect of fertilizer formulations on the vegetative growth and reproductive development of pepper plants.

Traitement	Hauteur de la plante (cm)	Largeur de la canopée (cm)	Intervalle plantation-floraison (jours)	Durée floraison - fructification (jours)	Nombre de fruits par plant	Poids des fruits par plant (g)	Rendement en fruits (kg/ha)
T1	127,5 _a	99,8 _c	45,8 _a	172,0 _{cd}	80,0 _b	327,3 _c	3 273 _c
T2	78,0 _c	81,1 _{cd}	38,6 _{bc}	194,8 _b	115,1 _b	532,0 _{bc}	5 320 _{bc}
T3	71,5 _c	77,1 _{de}	36,3 _c	187,6 _{bc}	139,3 _b	603,7 _{bc}	6 037 _{bc}
T4	86,3 _{bc}	96,1 _{cd}	40,0 _{bc}	210,5 _b	148,0 _b	752,2 _{bc}	7 522 _{bc}
T5	96,8 _b	122,0 _b	35,0 _c	205,0 _b	96,3 _b	423,0 _{bc}	4 230 _{bc}
T6	79,1 _c	81,1 _{cd}	39,1 _{bc}	198,6 _b	181,1 _b	957,7 _b	9 577 _b
T7	121,1 _a	132,8 _a	30,8 _d	246,8 _a	287,6 _a	1456,2 _a	14 562 _a
T8	74,3 _c	76,6 _{dc}	38,8 _{bc}	169,0 _{cd}	164,8 _b	721,8 _{bc}	7 218 _{bc}
T9	75,0 _c	72,1 _c	42,1 _{ab}	159,0 _d	115,6 _b	426,5 _{bc}	4 265 _{bc}

EFFET DES DOSES D'EPANDAGE D'ENGRAIS SUR LE RENDEMENT EN FRUITS DU PIMENT

Aucune différence significative n'a été observée au niveau des différents paramètres de croissance (hauteur de la plante et largeur de la canopée) pour tous les traitements aux engrais composé NPK et organique, indépendamment des doses d'épandage (Tableau 3). Pour ces deux paramètres, le témoin (T9) a eu des

performances significativement inférieures (75,0 cm et 72,1 cm respectivement) par rapport aux parcelles traitées. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été notée au niveau de l'intervalle plantation-floraison et la durée floraison-fructification pour tous les traitements NPK : pour le premier paramètre, le traitement à la fiente de poule sèche (T14) et le témoin (T9) ont été significativement plus élevés (38,3 jours et 42,1 jours respectivement). Le traitement T14 a plutôt allongé l'intervalle

plantation-floraison comparativement à la fertilisation minérale NPK, quelles que soient les doses d'épandage ; ici, cet intervalle est compris entre 30 et 33 jours. Pour le second paramètre, le témoin (T9) a eu une durée floraison-fructification plus courte (159 jours), alors que T14 n'était pas significativement différent des traitements NPK. Comme en T8, le traitement à la fiente de poule a encore allongé la durée floraison-fructification.

Cependant, des différences significatives ont été notées au niveau d'autres paramètres du développement reproductif, tels le nombre et le poids de fruits par plante. En effet, au traitement

T13 (4 x 350 NPK), le nombre de fruits par plante a été significativement supérieur (252,8 %) au témoin (T9). De même, le poids de fruits par plant pour ce traitement T13 a été significativement supérieur (308,6 %) au témoin (T9). Comparativement aux autres traitements, T13 a été 212,9 % supérieur à T10 (1 x 350 NPK), 186,7 % supérieur à T11 (2 x 350 NPK), 142,3 % supérieur à T12 (3 x 350 NPK), bien que cette différence ne soit pas significative, et 195,3 % supérieur à T14 (4 x 100 fiente). A la fin de l'expérience 2, le classement des traitements selon leur influence positive sur le rendement en fruits est le suivant : T13 ≥ T12 ≥ T11 ≥ T14 ≥ T10 ≥ T9.

Tableau 3 : Effet des différentes doses d'épandage d'engrais organique et minéral NPK sur la croissance végétative et le développement reproductif des plants de piment.

Effect of different application doses of organic and NPK mineral fertilizers on the vegetative growth and reproductive development of pepper plants.

Traitement	Hauteur de la plante (cm)	Largeur de la canopée (cm)	Intervalle plantation-floraison (jours)	Durée floraison - fructification (jours)	Nombre de fruits par plant	Poids des fruits par plant (g)	Rendement en fruits (kg/ha)
T10	126,5 _a	127,3 _a	30,3 _b	217,3 _a	126,2 _c	618,2 _{bc}	6 182 _{bc}
T11	110,0 _a	120,6 _a	31,6 _b	212,6 _a	163,7 _b	704,8 _b	7 048 _b
T12	124,8 _a	120,5 _a	32,1 _b	237,8 _a	201,0 _{ab}	924,8 _{ab}	9 248 _{ab}
T13	117,1 _a	117,3 _a	33,3 _b	234,1 _a	292,4 _a	1316,2 _a	13 162 _a
T14	102,5 _a	112,5 _a	38,3 _a	200,6 _a	172,7 _b	673,8 _{bc}	6 738 _{bc}
Témoin	75,0 _b	72,1 _b	42,1 _a	159,0 _b	115,6 _c	426,5 _c	4 265 _c

EFFET DES MODES D'EPANDAGE D'ENGRAIS SUR LE RENDEMENT EN FRUITS DU PIMENT

Aucune différence significative n'a été observée au niveau des paramètres de croissance (hauteur de la plante et largeur de la canopée) au cours de cette expérience, pour les différents modes d'épandage de l'engrais minéral NPK (T15, T16, T17 et T18). A l'opposé, les traitements T19 (4 x 100 kg/ha de fiente) ainsi que le témoin (T9) ont eu des performances végétatives significativement inférieures à celles des traitements à l'engrais composé (Tableau 4). Par ailleurs, aucune différence significative n'a été notée au niveau de l'intervalle plantation-floraison et la durée floraison-fructification pour tous les modes d'épandage de l'engrais composé NPK. Le traitement T19 et le témoin (T9) ont cependant allongé l'intervalle plantation-floraison

(39,7 jours et 42,2 jours respectivement), et ont raccourci la durée floraison-fructification (177,0 jours et 159,0 jours respectivement), en comparaison aux traitements à l'engrais composé NPK, indépendamment du mode d'épandage.

Des différences significatives ont cependant été observées au niveau des autres paramètres du développement reproductif tels que le nombre et le poids de fruits par plante. En effet, le traitement T17 (4 x 350 NPK, en dispersion régulière) a généré un nombre supérieur de fruits par plante (223 fruits), et un poids supérieur de fruits par plante (1271,2 g/plant). Le nombre de fruits par plante en T17 a été ainsi significativement supérieur à celui obtenu pour les traitements T15 et T19, mais non significativement différent de celui obtenu pour les deux autres modes d'épandage du fertilisant

NPK (T16 et T18). L'augmentation du nombre de fruits a été 87 % supérieure à T19 (4 x 100 kg de fiente), et 92 % supérieure au témoin (T9).

De même, le poids (g) de fruits par plante en T17 a aussi été significativement supérieur à celui obtenu pour les traitements T15 et T19, mais non significativement différent des deux autres modes d'épandage du fertilisant NPK (T16 et T18). L'augmentation du poids de fruits a été

125 % supérieure au rendement en fruits obtenu au traitement T19 et 198 % supérieure au témoin (T9). Enfin, les traitements T15 et T19 ont eu les rendements en fruits les plus faibles (6 667 kg/ha et 5 628 kg/ha respectivement) ; ces rendements ont été supérieurs au témoin T9 (4 265 kg/ha). A la fin de l'expérience 3, le classement des traitements selon leur influence positive sur le rendement en fruits est le suivant : $T17 \geq T18 \geq T16 \geq T15 \geq T19 > T9$.

Tableau 4 : Effet de différents modes d'épandage d'engrais organique et minéral NPK sur la croissance végétative et le développement reproductif des plants de piment.

Effect of different application methods of organic and NPK mineral fertilizers on the vegetative growth and reproductive development of pepper plants.

Traitement	Hauteur de la plante (cm)	Largeur de la canopée (cm)	Intervalle plantation-floraison (jours)	Durée floraison - fructification (jours)	Nombre de fruits par plant	Poids des fruits par plant (g)	Rendement en fruits (kg/ha)
T15	121,3 _a	126,3 _a	30,0 _b	232,5 _a	123,0 _b	666,7 _b	6 667 _b
T16	127,6 _a	122,1 _a	34,0 _b	218,3 _a	136,3 _{ab}	786,2 _{ab}	7 862 _{ab}
T17	127,0 _a	133,1 _a	29,8 _b	218,1 _a	223,0 _a	1271,2 _a	12 712 _a
T18	125,5 _a	124,6 _a	30,8 _b	239,0 _a	167,5 _{ab}	927,0 _{ab}	9 270 _{ab}
T19	84,8 _b	94,1 _b	39,7 _a	177,0 _b	118,8 _b	562,8 _b	5 628 _b
Témoin	75,0 _b	72,1 _b	42,2 _a	159,0 _b	115,6 _b	426,5 _c	4 265 _c

ANALYSE ECONOMIQUE DES DIFFERENTS TRAITEMENTS

Le coût des engrais minéraux et organique a varié d'un traitement à l'autre selon les quantités utilisées tout au long de chaque expérience (Tableau 5), alors que le coût des pesticides et celui de la main-d'œuvre ont été plutôt constants quel que soit le traitement. Les coûts variables les plus élevés étaient relatifs à l'utilisation de l'engrais composé 4 x NPK (1 894 000 FCFA/ha) pour toutes les trois expériences. A l'opposé, les deux traitements pour lesquels les coûts variables totaux étaient les moins élevés étaient 4 x 100 kg de fiente (1 440 000 FCFA) et le témoin (1 390 000 FCFA).

Par ailleurs, les rendements en fruits les plus élevés ont été obtenus lors de l'utilisation de l'engrais composé 4 x NPK, soit T7 (14 562 kg/ha), T13 (13 162 kg/ha) et T17

(12 712 kg/ha) respectivement pour les expériences 1, 2 et 3. Les autres traitements ont produit des rendements relativement plus faibles. Ces trois traitements ont généré les revenus les plus élevés, soit T7 (14 562 000 FCFA/ha), T13 (13 162 000 FCFA/ha) et T17 (12 712 000 FCFA/ha). Ces revenus ont respectivement été 341, 308 et 298 % significativement supérieurs au témoin T9 - ce qui en moyenne laisse espérer une augmentation de 300 %. Par ailleurs, le traitement T7 a eu le rapport bénéfice-coût le plus élevé ($r = 6,7$), suivi des traitements T13 ($r = 5,9$) et T17 ($r = 5,7$). Pour ces trois traitements, les rapports r (non significativement différents entre eux) sont significativement supérieurs à ceux des traitements T5 ($r = 1,3$) et T1 ($r = 1$). Tous les autres traitements ont eu des rapports bénéfice-coût intermédiaires, indépendamment de l'expérience considérée.

Tableau 5 : Analyse économique des différents traitements.

Economic analysis of the different treatments.

Traitement	Coût des engrais (FCFA/ha)	Coût des pesticides (FCFA/ha)	Main-d'œuvre (FCFA/ha)	Coûts variables totaux (FCFA/ha)	Rendement (kg/ha)	Revenu brut (FCFA/ha)	Bénéfice brut (FCFA/ha)*	Rapport bénéfice/coût (r)
Expérience 1								
T1	216 000	190 000	1 200 000	1 606 000	3 273	3 273 000	1 667 000	1,0 _c
T2	115 200	190 000	1 200 000	1 505 200	5 320	5 320 000	3 814 800	2,5 _{bc}
T3	172 800	190 000	1 200 000	1 562 800	6 037	6 037 000	4 474 200	2,9 _{bc}
T4	331 200	190 000	1 200 000	1 721 200	7 522	7 522 000	5 800 800	3,4 _{ab}
T5	388 800	190 000	1 200 000	1 778 800	4 230	4 230 000	2 451 200	1,4 _c
T6	288 000	190 000	1 200 000	1 678 000	9 577	9 577 000	7 899 000	4,7 _{ab}
T7	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	14 562	14 562 000	12 668 000	6,7 _a
T8	50 000	190 000	1 200 000	1 440 000	7 218	7 218 000	5 778 000	4,0 _{ab}
T9	0	190 000	1 200 000	1 390 000	4 265	4 265 000	2 875 000	2,0 _{bc}
Expérience 2								
T10	126 000	190 000	1 200 000	1 516 000	6 182	6 182 000	4 666 000	3,0 _{ab}
T11	252 000	190 000	1 200 000	1 642 000	7 048	7 048 000	5 406 000	3,3 _{ab}
T12	378 000	190 000	1 200 000	1 768 000	9 248	9 248 000	7 480 000	4,3 _{ab}
T13	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	13 162	13 162 000	11 268 000	5,9 _a
T14	50 000	190 000	1 200 000	1 440 000	6 738	6 738 000	5 298 000	3,7 _{ab}
Témoin	0	190 000	1 200 000	1 390 000	4 265	4 265 000	2 875 000	2,0 _{bc}
Expérience 3								
T15	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	6 667	6 667 000	4 773 000	2,5 _{bc}
T16	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	7 862	7 862 000	5 968 000	3,2 _{ab}
T17	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	12 712	12 712 000	10 818 000	5,7 _a
T18	504 000	190 000	1 200 000	1 894 000	9 270	9 270 000	7 376 000	3,8 _{ab}
T19	50 000	190 000	1 200 000	1 440 000	5 628	5 628 000	4 188 000	2,9 _{bc}
Témoin	0	190 000	1 200 000	1 390 000	4 265	4 265 000	2 875 000	2,0 _{bc}

* : Taux de change: 1 € = 655,95 FCFA.

* : Exchange rate: 1 € = 655.95 CFAF.

DISCUSSION

Les traitements à l'urée ont induit une stimulation de croissance des plants de piment. L'urée seule favorise donc le développement des organes végétatifs des plants (tiges et feuilles), au détriment des organes reproductifs (fruits), qui sont les organes économiquement importants de ce légume-fruit (Expérience 1). Ainsi, l'action stimulatrice de l'élément N pour la production des fruits de piment ne s'exerce qu'en présence du phosphore P et de la potasse K. D'autres auteurs avaient déjà tiré des conclusions similaires (Obiagwu et Odiaka, 1995 ; Olasantan, 1994). Les trois éléments majeurs N, P, et K réunis ont été particulièrement importants pour l'induction des organes aussi bien végétatif que reproductif des plants de piment, étant donné que les rendements en fruits les plus élevés ont été obtenus lors de l'utilisation de l'engrais composé NPK. Ces observations

sont en accord avec les travaux de Baghoun *et al.* (2001) et de Guohua *et al.* (2001).

Le fait que le traitement à l'engrais organique (T8) ait eu un rendement en fruits (7 218 kg/ha) plus élevé que de nombreux traitements aux engrais minéraux, tels T1 (3 273 kg/ha), T2 (5 320 kg/ha), T3 (6 037 kg/ha) et T5 (4 230 kg/ha), avec un rapport bénéfice-coût ($r = 4$) suffisamment élevé peut s'expliquer par l'assertion que la fumure organique est riche en P (Defoer *et al.*, 2000) et moins cher sur le marché camerounais ; en plus, elle est connue comme étant une ressource efficace pour le maintien de la fertilité, qui apporte au sol une gamme variée de macro- et micro-éléments (Pulgar *et al.*, 2000). Les apports en fumure organique ne rendent pas toujours immédiatement disponibles et facilement accessibles les éléments nutritifs qu'ils contiennent pour la plante, car ils doivent dans un premier temps être minéralisés par la microflore et la microfaune

telluriques avant de libérer ces éléments nutritifs ; ce qui n'est pas le cas avec la fumure minérale, prête à l'utilisation immédiatement après épandage (Aliyu, 2000 ; Kaya *et al.*, 2001). La minéralisation étant un phénomène progressif, des effets résiduels cumulatifs pourraient se manifester en faveur de l'amélioration de la fertilité du sol, donc de l'augmentation des rendements en fruits au cours des cycles de culture successifs (Kaho *et al.*, 2011). Par ailleurs, les rendements élevés en fruits des traitements T4 (7 522 kg/ha) et T8 (7 218 kg/ha) ayant reçu P, d'une part, et le rapport bénéfice-coût du témoin T9 ($r = 2$) qui est meilleur que ceux des traitements T1 ($r = 1$) et T5 ($r = 1,3$) n'ayant pas reçu P, d'autre part, suggèrent que P est un élément indispensable, dont le plant de piment a besoin pour accroître sa capacité de produire des fruits.

Aussi, le fait que le traitement T13 (4 x 350 kg/ha NPK) ait par ailleurs généré le rendement le plus élevé (Expérience 2) peut s'expliquer par la structure même de la plante, car le piment généralement a une croissance végétative de type indéterminée et un système racinaire superficiel et peu pivotant ; et tant qu'il trouve dans la zone racinaire un bon régime hydrique et des éléments nutritifs nécessaires et en quantité suffisante, il continue de fleurir et de fructifier, donc de donner des rendements de plus en plus élevés (Guohua *et al.*, 2001 ; Obiagwu et Odiaka, 1995).

Compte-tenu du fait que les rendements en fruits des traitements T12 et T13 aient été proches et non significativement différents (9 248 et 13 162 kg/ha respectivement), ces résultats suggèrent qu'au cours de leurs phases de croissance et de développement, les plants de piment ont besoin de 3 à 4 apports de NPK pour maximiser leur production en fruits.

Par ailleurs, étant donné que le traitement T17 (4 x 350 kg/ha NPK, en dispersion régulière sous la frondaison) ait donné le rendement le plus élevé (Expérience 3), et que ce résultat (12 712 kg/ha) ne soit pas significativement différent de ceux obtenus en T16 (4 x 350 kg/ha NPK en deux bandes à gauche et à droite de la ligne des plants, avec 7 862 kg/ha) et T18 (4 x 350 kg/ha NPK en couronne autour du plant, avec 9 270 kg/ha), il peut s'expliquer par le fait que les différents modes de répartition spatiale des engrais minéraux sous la masse foliaire mettent différemment les éléments fertilisants à proximité de la zone racinaire (Defoer *et al.*, 2000) d'où ils sont facilement absorbés. Le

phosphore n'étant pas un élément fertilisant très mobile dans le sol (Carter et Murwira, 1995) et ne pouvant pas être facilement perdu par lessivage, l'épandage d'engrais minéraux contenant P devrait être prioritairement faite par dispersion régulière sous la masse foliaire (T17), surtout lorsqu'il s'agit d'une plante à cycle court et à système racinaire peu développé comme le piment. Le placement en deux points -à gauche et à droite- du plant de piment est moins avantageux par rapport aux trois précédents modes d'épandage, car il met difficilement les éléments nutritifs à portée des racines pour être absorbés.

Etant donné qu'au niveau du traitement T19 (4 x 100 kg/ha de fiente, épandage en dispersion régulière), le rendement en fruits (5 628 kg/ha) ait été significativement plus élevé que celui produit par le témoin T9 (4 265 kg/ha) et non significativement différent de ceux produits par les traitements T15 (6 667 kg/ha), T16 (7 862 kg/ha) et T18 (9 270 kg/ha), ces résultats cadrent avec les principes de l'agriculture durable dont les produits, dits biologiques, ont une valeur marchande plus élevée sur le marché international comparativement aux produits issus de l'agriculture conventionnelle.

Malgré le fait que les traitements T7, T13 et T17 (4 x NPK) aient généré les rendements en fruits en moyenne supérieurs à 13 t/ha pour toutes les trois expériences, puis les revenus et les marges bénéficiaires les plus élevés, ainsi que des rapports bénéfice-coût variant entre 5 et 6, leur application reste encore problématique en raison des coûts des engrais minéraux (18 000 FCFA/sac de 50 kg) et autres intrants agricoles (pesticides, outils agricoles, etc.) qui sont nettement au-dessus du pouvoir d'achat de bon nombre de petits agriculteurs au Cameroun. La subvention potentielle de ces intrants agricoles par les pouvoirs publics augmenterait de façon significative les marges bénéficiaires des entrepreneurs ruraux, et par conséquent leur pouvoir d'achat et leur niveau de vie. Des résultats similaires avaient déjà été rapportés par d'autres auteurs (Echezona *et al.*, 2011 ; Njonga, 2000).

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que pour la fertilisation du piment, il est nécessaire d'apporter un engrais complet NPK. Plus spécifiquement, la formulation d'engrais composé NPK 19-4-16 est

indispensable pour la production optimisée du piment dans la zone forestière de basse altitude du Cameroun, étant donné qu'elle a donné les rendements en fruits les plus élevés pour toutes les trois expériences. Cet engrais devrait de préférence être utilisé à la dose de 3 à 4 épandages au cours des cycles végétatif et reproductif. Par ailleurs, les modes d'épandage en dispersion régulière sous la frondaison, en couronne tout autour de la plante, et en deux bandes (à gauche et à droite) de la ligne de plantation donnent les rendements les plus élevés par ordre décroissant. Avec des rendements obtenus de plus de 13 t/ha qui génèrent des revenus bruts supérieurs à 13 000 000 FCFA/ha, et des rapports bénéfice-coût élevés variant entre 5 et 6, la culture du piment peut donc être considérée comme une opportunité rentable pour les horticulteurs camerounais. La fumure organique donne un rendement en fruits plus élevé que de nombreux traitements aux engrais minéraux, ainsi qu'un rapport bénéfice-coût élevé ($r = 4$). L'augmentation des doses d'épandage pourrait avoir des effets résiduels cumulatifs, se manifestant à long terme en faveur de l'amélioration de la fertilité du sol au cours des cycles de culture successifs. En conséquence, cette pratique agricole aboutirait à l'amélioration du pouvoir d'achat et du niveau de vie des petits agriculteurs au Cameroun.

REFERENCES

- Aliyu L. 2000. Effect of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Biol Agric Hortic*. 18 (1) : 29 - 36.
- Baghoun M., E. Sanchez and J. M. Ruiz. 2001. Metabolism and efficiency of phosphorus utilization during senescence in pepper plants : response to nitrogenous and potassium fertilization. *J Plant Nutr*. 24 (11) : 1731 - 43.
- Carter S. E. and H. K. Murwira. 1995. Spatial variability in soil fertility management and crop response in Mutoko communal area, Zimbabwe. *Ambio* 24 : 77 - 84.
- Celik I., I. Ortas and S. Kilic. 2004. Effect of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some properties of a chromoxerert soil. *S. Till. Res*. 78 (1) : 59 - 67.
- Defoer T., A. Budelman, C. Toulmin and S.E. Carter. 2000. Building common knowledge. Participatory learning and action research (Part 1). *In* : T. Defoer and A. Budelman (Eds.). *Managing soil fertility in the tropics*. A Resource Guide for participatory learning and research action. Amsterdam, The Netherlands: Royal Tropical Institute. 208 p.
- Echezona B. C., K. P. Baiyeri and F. D. Aindigh. 2011. Yield and economics of plantain production under six weed management systems in a derived savanna agro-ecosystem. *Tropicult*. 29 (1) : 14 - 9.
- Grubben G. J. H. and I. M. El Tahir. 2004. *Capsicum annum* L. *In* : G. J. H. Grubben and O.A. Denton (Eds.) *Vegetables/Légumes*. PROTA. Wageningen, Pays-Bas. 19 p.
- Guohua X., S. Wolf and U. Kafkafi . 2001. Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. *J. Pl. Nutr*. 24 (7) : 1099 - 1116.
- Kaho F., M. Yemefack, P. Feujoy-Teguefouet et J. C. Tchanchaouang. 2011. Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicult*. 29(1) : 39 - 45.
- Kaya C., H. Kimak and D. Higgs. 2001. Effect of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *J Plant Nutr*. 24 (9) : 1457 - 71.
- Njonga B. 2000. Piment : Gagner 7 500 000 FCFA en une champagne. *In* : B. Njonga. (Eds.). *La Voix du Paysan* N° 102, CDDR, Cameroun. pp 12 - 13.
- Obiagwu C.J. and N I. Odiaka. 1995. Fertilizer schedule for yield of fresh fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) grown in lower Benue river basin of Nigeria. *I. J. Agric Sci*. 65 (2) : 98 - 101.
- Olasantan. 1994. Fertilizer use in vegetable production in Nigeria. *Outl. Agric*. 23 : 213 - 22.
- PDEA. 2000. (Programme de Diversification des Exportations Agricoles). Programme prioritaire de promotion des PME: Elaboration d'une nouvelle politique nationale de promotion des exportations au Cameroun. Projet N° CMR/92/007. 129 p.
- Pulgar G., G. Villora and D. A. Moreno. 2000. Effect of Nitrogen and potassium on the ionic balance in *Capsicum* plants (*Capsicum annum* L. cv. Lamuyo). *Com. S. Sci. Pl. Anal*. 31 (11 - 14) : 2321 - 28.
- Schippers R. R. 2004. *Légumes africains indigènes : Présentation des espèces cultivées*. Margraf Publishers GmbH, Scientific Books. 482 p.

1-DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (40)			
N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	MOUNDIPA FEWOU PAUL	Professeur	<i>Chef de Département,</i>
2	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
3	BENG née NINTCHOM PENLAP Véronique	Maître de Conférences	En poste
4	FEKAM BOYOM Fabrice	Maître de Conférences	En poste
5	FOKOU Elie	Maître de Conférences	En poste
6	KANSCI Germain	Maître de Conférences	En poste
7	MBACHAM Wilfried	Maître de Conférences	En poste
8	MINKA Samuel	Maître de Conférences	En poste
9	ACHU Merci BIH	Chargé de Cours	En poste
10	ATOGHO Barbara Mma	Chargé de Cours	En poste
11	BELINGA née NDOYE FOE Marie Florentine	Chargé de Cours	<i>Chef DAF / FS</i>
12	BIGOGA JUDE	Chargé de Cours	En poste
13	BIYITI BI ESSAM née AKAM ADA Lucie.	Chargé de Cours	<i>I.G. MINRESI</i>
14	BOUDJEKO Thaddée	Chargé de Cours	En poste
15	DEMMANO Gustave	Chargé de Cours	En poste
16	DJOKAM TAMO Rosine	Chargé de Cours	En poste
17	EFFA ONOMO Pierre	Chargé de Cours	En poste
18	EVEHE BEBANDOUE Marie-Solange	Chargé de Cours	En poste
19	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Chargé de Cours	<i>CE SEP MINESUP</i>
20	NGONDI Judith Laure	Chargé de Cours	En poste
21	NGUEFACK Julienne	Chargé de Cours	En poste
22	NJAYOU Frédéric Nico	Chargé de Cours	En poste
23	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Chargé de Cours	En poste
24	WAKAM née NANA Louise	Chargé de Cours	En Poste
25	BEBEE FATIMATOU	Assistante	En poste
26	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Assistante	En poste
27	DAKOLE DABOY Charles	Assistant	En poste
28	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Assistante	En poste
29	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane		
30	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Assistant	En poste
31	EWANE Cécile Anne	Assistante	En poste
32	FONKOUA Merlin	Assistant	En poste
33	KOTUE KAPTUE Charles	Assistant	En poste
34	LUNGA Paul KAILAH	Assistant	En poste
35	MANANGA Marlyse Joséphine	Assistante	En poste
36	MBONG ANGIE MOUGANDE Mary Ann	Assistante	En poste

37	MBOUCHE FANMOE Marcelline Joëlle	Assistante	En poste
38	Palmer MASUMBE NETONGO	Assistant	En poste
39	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Assistant	En poste
40	TIENTCHEU DJOKAM Léopold	Assistant	En poste
2-DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALE (B.P.A) (47)			
1	BILONG BILONG Charles Félix	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
3	FOMENA Abraham	Professeur	En poste
4	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En Poste
5	MIMPFOUNDI REMY	Professeur	En Poste
6	NGASSAM Pierre	Professeur	En Poste
7	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
8	DJIETO Lordon Champlain	Maître de Conférences	En poste
9	KAMGANG René	Maître de Conférences	<i>C.S. MINRESI</i>
10	NJAMEN Dieudonné	Maître de Conférences	En poste
11	NOLA Moïse	Maître de Conférences	En Poste
12	TAN Paul	Maître de Conférences	En Poste
13	TCHUEM TCHUENTE Louis	Maître de Conférences	<i>Coord. Progr. MINSANTE</i>
14	AJEAGAH Gidéon AGHAINDOUM	Chargé de Cours	En poste
15	BAPFUBUSA Benoît Alain	Chargé de Cours	En poste
16	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
17	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Chargé de Cours	En poste
18	ESSOMBA née NTSAMA MBALLA	Chargé de Cours	<i>MINSANTE</i>
19	FOTO MENBOHAN Samuel	Chargé de Cours	<i>CT2 MIN. ENERGIE</i>
20	JATSA MEGAPTCHE Hermine	Chargé de Cours	En poste
21	KEKEUNOU Sévilor	Chargé de Cours	En poste
22	MEGNEKOU Rosette	Chargé de Cours	En poste
23	MONY NTONE Ruth	Chargé de Cours	En poste
24	TOMBI Jeannette	Chargé de Cours	En poste
25	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Chargé de Cours	En poste
26	ALENE Désirée Chantal	Assistante	En poste
27	ATSAMO Albert Donatien	Assistant	En poste
28	BILANDA Danielle Claude	Assistante	En poste
29	DJIOGUE Séfirin	Assistant	En poste
30	ETEME ENAMA Serge	Assistant	En poste
31	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Assistante	En poste
32	KANDELA KAVAYE Antoine	Assistant	En poste
33	KOGA MANG'DObara	Assistant	En poste
34	LEUKEUFACK FOLEFACK Guy Benoît	Assistant	En poste
35	MAHOB	Assistant	En poste
36	MBENOUN MASSE Paul Serge	Assistant	En poste

37	MMAHOB Raymond Joseph	Assistant	En poste
38	MUH Benrice FIEN	Assistant	En poste
39	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Assistant	En poste
40	NDASSA AROUNA	Assistant	En poste
41	NGOUATEU NDANKEU Yves Patrick	Assistant	En poste
42	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Assistante	En poste
43	NGUEMBOCK	Assistant	En poste
44	NJUA Clarisse YAFI	Assistante	En poste
45	OBI OBEN Esther	Assistante	En poste
46	TADU Zéphirin	Assistant	En poste
47	YEDE	Assistant	En poste
3-DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALE (B. P. V) (26)			
1	YOUMBI Emmanuel	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	NKONGMENECK Bernard Aloys	Professeur	En poste
3	AMBANG Zachée	Maître de Conférences	Vice-Doyen/RC Fac.Sc.Ed
4	BELL Joseph Martin	Maître de Conférences	En poste
5	DJOCGOUE Pierre François	Maître de Conférences	En poste
6	MOSSEBO Dominique Claude	Maître de Conférences	En poste
7	ZAPFACK Louis	Maître de Conférences	En poste
8	ANGONI Hyacinthe	Chargé de Cours	En poste
9	BIYE Elvire Hortense	Chargé de Cours	En poste
10	ESSONO OBOUNOU Germain Gabriel	Chargé de Cours	En poste
11	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	Chargé de Cours	En poste
12	MBARGA BINDZI Marie Alain	Chargé de Cours	CEA MINESUP
13	MBOLO Marie	Chargé de Cours	En poste
14	NDONGO BEKOLO	Chargé de Cours	CE / MINRESI
15	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Chargé de Cours	En poste
16	NGOUO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
17	NSOM ZAMO Annie Claude	Chargé de Cours	Expert national. / UNESCO
18	TSOATA Esaïe	Chargé de Cours	En poste
19	TONFACK Libert Brice	Chargé de Cours	En poste
20	DJEUANI Astrine Carole	Assistante	En poste
21	MAFFO MAFFO Nicole	Assistante	En poste
22	MALLA Armand William	Assistant	En poste
23	NGALLE Hermine BILLE	Assistante	En poste
24	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy Leonard	Assistant	En poste
25	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Assistante	En poste
26	NOUKEU NKOUAKAM Armelle	Assistante	En poste

4-DEPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (C.I.) (34)			
1	NEMBA Robert	Professeur	En poste
2	NGAMENI Emmanuel	Professeur	Directeur MINSUP
3	NJOPWOUO Daniel	Professeur	Vice-Doyen / DPSAA
4	AGWARA ONDOH Moïse	Maître de Conférences	Insp Génér. MINPMEA
5	AVOM Jérôme	Maître de Conférences	Directeur IAI Gabon
6	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	Chargée mission P.R.
7	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
8	ELIMBI Antoine	Maître de Conférences	En poste
9	GHOGOMU Paul MINGO	Maître de Conférences	Directeur Cabinet PM
10	KETCHA MBADCAM Joseph	Maître de Conférences	Chef de Département
11	LAMINSI Samuel	Maître de Conférences	En poste
12	MELO née CHINJE Uphie F.	Maître de Conférences	<i>Directeur Mipromalo</i>
13	NANSEU Charles Péguy	Maître de Conférences	En poste
14	NDIFON Peter TEKE	Maître de Conférences	<i>ISI MINRESI</i>
15	NENWA Justin	Maître de Conférences	En poste
16	NGOMO Horace MANGA	Maître de Conférences	<i>S.G. MINSUP</i>
17	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
18	BAIZOUMI ZOUA	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINTOUR</i>
19	GWET Simon Pierre	Chargé de Cours	En poste
20	KEUMEGNE MBOUGUEM Jean Claude	Chargé de Cours	En poste
21	KONG SAKEO	Chargé de Cours	<i>C. M. au P. M.</i>
22	NDIKONTAR Maurice KOR	Chargé de Cours	<i>VD/UBda</i>
23	NJIOMOU Chantale épouse DJANGANG	Chargé de Cours	En poste
24	NJOYA Dayirou	Chargé de Cours	En poste
25	SIGNING Pierre	Chargé de Cours	En poste
26	ACAYANKA Elie	Assistant	En poste
27	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Assistant	En poste
28	CHEUMANI YONA Arnauld	Assistant	En poste
29	EMADACK Alphonse	Assistant	En poste
30	KAMGANG YOUBI Georges	Assistant	En poste
31	NDI Julius NSAMI	Assistant	En poste
32	NYAMEN Linda Dyorisse	Assistante	En poste
33	PABOUDAM GBAMBIE Awoua	Assistant	En poste
34	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Assistant	En poste
5-DEPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (C.O.) (37)			
1	DONGO Etienne	Professeur	En poste
2	FON KIMBU Samuel	Professeur	En poste
3	GHOGOMU TIH Raphael	Professeur	En poste

4	MBAFOR Joseph	Professeur	En poste
5	NGADJUI TCHALEU Bonaventure	Professeur	<i>Chef de dépt FMBS</i>
6	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	En poste
7	NKENGFAK Augustin Ephraïm	Professeur	<i>Chef de Département</i>
8	NYASSE Barthélemy	Professeur	<i>Chef Cellule MINSUP</i>
9	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Chef de Cellule MINESUP</i>
10	TSAMO Etienne	Professeur	En poste
11	WANDJI Jean	Professeur	En poste
12	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	<i>VD/UB</i>
13	KAPNANG Henriette	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	NOUNGOUE TCHAMO Didérot	Maître de Conférences	En poste
16	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Chef de Service Rectorat UYI</i>
17	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
18	Alex de Théodore ATCHADE	Chargé de Cours	En poste
19	BISSECK Paulette	Chargé de Cours	En poste
20	EYONG Kenneth OBEN	Chargé de Cours	En poste
21	KEUMEDJIO Félix	Chargé de Cours	En poste
22	KEUMOGNE Marguerite	Chargé de Cours	En poste
23	MBAZOA née DJAMA Céline	Chargé de Cours	En poste
24	MKOUNGA Pierre	Chargé de Cours	En poste
25	NGO MBING Joséphine	Chargé de Cours	En poste
26	NGONO BIKOBO Dominique S.	Chargé de Cours	En poste
27	TABOPDA KUATE Turibio	Chargé de Cours	En poste
28	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
29	TIH née NGO BILONG Anastasie	Chargé de Cours	En poste
30	ZONDEGOUMBA Ernestine	Chargé de Cours	En poste
31	AMBASSA Pantaleon	Assistant	En poste
32	TOTSO WABO Ghislain	Assistant	En poste
33	KAMTO Eutrophe Ledoux	Assistant	En poste
34	NGINTEDO Dominique	Assistant	En poste
35	NGOMO Orléans	Assistant	En poste
36	OUAHOUO WACHE Blandine Marlyse	Assistante	En poste
37	TABOPDA KUATE Turibio	Assistant	En poste
6-DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (26)			
1	TCHUENTE Maurice	Professeur	<i>PCA UB</i>
2	ATSA ETOUNDI Roger	Maître de Conférences	<i>Chef Div MINFOPRA</i>
3	FOTSO Laure Pauline	Maître de Conférences	<i>Vice-Recteur Uds</i>
4	FOUDA NDJODO Marcel	Maître de Conférences	<i>IA4 MINESUP/ Chef Dpt ENS</i>

5	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
6	CHEDOM FOTSO Donatien	Chargé de Cours	En poste
7	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
8	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
9	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
10	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
11	ABESSOLO ALO'O Gislain	Assistant	En poste
12	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
13	DJOUWE MEFFEJA Merline	Assistante	En poste
14	EBELE Serge	Assistant	En poste
15	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
16	KAMDEM KENGNE Christiane	Assistante	En poste
17	KAMGUEU Patrick Olivier	Assistant	En poste
18	KENFACK DONGMO Clauvice Viliane	Assistant	En poste
19	KOUMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
20	KOUOKAM KOUOKAM Etienne Appolin	Assistant	En poste
21	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
22	MONTHE DJIAEU Valery Martial	Assistant	En poste
23	MOTTO PONG Serge	Assistant	En poste
24	OMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
25	TAPAMO Hyppolite	Assistant	En poste

7-DEPARTEMENT DE MATHEMATIQUE (MA) (39)

1	BEKOLLE David	Professeur	<i>Vice-Recteur U. N</i>
2	BITJONG NDOMBOL	Professeur	<i>DPI UYII</i>
3	DOSSA COSSY Marcel	Professeur	En poste
4	NGUETSENG Gabriel	Professeur	<i>Chef du CUTI UYI</i>
5	NOUTCHEGUEME Norbert	Professeur	En poste
6	TONGA Marcel	Maître de Conférences	En poste
7	WAMON François	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
8	AYISSI Raoult Domingo	Chargé de Cours	En poste
9	BINZOULI Etienne Jean-Jacques	Chargé de Cours	En poste
10	EMVUDU WONO Yves	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule. MINESUP</i>
11	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
12	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
13	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
14	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
15	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
16	MBIANDA Gilbert	Chargé de Cours	En poste
17	MEWOLI Boulchard	Chargé de Cours	En poste
18	NDAKBO Victor	Chargé de Cours	En poste

19	NGUIMTSA Charles	Chargé de Cours	En poste
20	NKUIMI JUGNIA Célestin	Chargé de Cours	En poste
21	NOUNDJEU Pierre	Chargé de Cours	En poste
22	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
23	TCHAPNDA NJABO Sophonie Blaise	Chargé de Cours	En poste
24	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
25	TIAYA TSAGUE N. Anne- Marie	Chargé de Cours	En poste
26	ZAME Alfred	Chargé de Cours	En poste
27	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Assistant	En poste
28	CHENDJOU Gilbert	Assistant	En poste
29	DJIADEU NGAHA Michel	Assistant	En poste
30	MBEHOU Mohamed	Assistant	En poste
31	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
32	MENGUE MENGUE David Joe	Assistant	En poste
33	NGUEFACK Bertrand	Assistant	En poste
34	NKONLACK Socgnia Virginie	Assistante	En poste
35	NIMPA PEFOUNKEU ROMAIN	Assistant	En poste
36	POLA DOUNDOU Emmanuel	Assistant	En poste
37	TAKAM SOH Patrice	Assistant	En poste
38	TAN AHANDA Barnabé	Assistant	<i>Chef Serv. MINPLAMAT</i>
39	TETSADJIO TCHILEPECK Mesmin Erick	Assistant	En poste

8- DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MB) (12)

1	ETOA François Xavier	Professeur	Chef de département, CT/PM
2	ESSIA NGANG Jean Justin	Maître de Conférences	En poste
3	NWAGA Dieudonné M.	Maître de Conférences	En poste
4	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
5	BOYOMO ONANA	Chargé de Cours	En poste
6	ENO Anna Arey	Chargé de Cours	En poste
7	NYEGUE Maximilienne Ascencion	Chargé de Cours	En poste
8	RIWOM Sara Honorine	Chargé de Cours	En poste
9	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Chargé de Cours	En poste
10	BOUGNOM Blaise Pascal	Assistant	En poste
11	NJIKI BIKOY Jacky	Assistant	En poste
12	TCHIKOUA Roger	Assistant	En poste

9-DEPARTEMENT DE PHYSIQUE (PH) (39)

1	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	NJOMO Damien	Professeur	En poste
3	WOAFO Paul	Professeur	En poste
4	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Maître de Conférences	En poste

6	NOUAYOU Robert	Maître de Conférences	En poste
7	OUMAROU BOUBA	Maître de Conférences	Recteur UYII
8	PEMHA Elkana	Maître de Conférences	En poste
9	TABOD Charles TABOD	Maître de Conférences	Doyen/UBa
10	TCHAWOUA Clément	Maître de Conférences	En poste
11	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
12	BEN-BOLIE Germain Hubert	Chargé de Cours	En poste
13	BIYA MOTTO Frédéric	Chargé de Cours	Dir.Gén.B.MEKIM
14	DJUIDJE KENMOE Germaine épse ALOYEM KAZE	Chargé de Cours	En poste
15	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Chargé de Cours	Chef de Dépt.UN
16	FEWO Serge Ibraïd	Chargé de Cours	En poste
17	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	En poste
18	HONA Jacques	Chargé de Cours	En poste
19	MBANE BIOUELE	Chargé de Cours	En poste
20	MBONO SAMBA Yves Christian	Chargé de Cours	Vice Doyen Uds
21	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Chargé de Cours	Chef Serv. MINRESI
22	NANA NBENDJO Blaise	Chargé de Cours	En poste
23	NDOP Joseph	Chargé de Cours	En poste
24	OBONOU MARCEL	Chargé de Cours	En poste
25	SAIDOU	Chargé de Cours	En poste
26	SIEWE SIEWE Martin	Chargé de Cours	En poste
27	SIMO Elie	Chargé de Cours	En poste
28	TABI Conrad Bertrand	Chargé de Cours	En poste
29	TCHOFFO Fidèle	Chargé de Cours	En poste
30	WAKATA née BEYA Annie	Chargé de Cours	Chef Serv. MINESUP
31	WOULACHE Rosalie Laure	Chargé de Cours	En poste
32	ABDOURAHIMI	Assistant	En poste
33	BODO Bernard	Assistant	En poste
34	CHAMANI Roméo	Assistant	En poste
35	EDONGUE HERVAIS	Assistant	En poste
36	ENYENGUE A NYAM Françoise Epse BELINGA	Assistant	En poste
37	EYEBE FOU DA Jean-Sire	Assistant	En poste
38	MBINACK Clément	Assistant	En poste
39	VONDOU DERBETINI Apollinaires	Assistant	En poste
10- DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (S.T.) (42)			
1	BILONG PAUL	Professeur	Doyen FS UYI
2	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
3	BITOM Dieudonné	Maître de Conférences	D.A.A.C / UN
4	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Maître de Conférences	En poste
5	KAMGANG Pierre	Maître de Conférences	En poste

6	MEDJO EKO Robert	Maître de Conférences	<i>D.I.P.D. Rectorat UYI</i>
7	MVONDO ONDOA Joseph	Maître de Conférences	En poste
8	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Maître de Conférences	En poste
9	NDJIGUI Paul-Désiré	Maître de Conférences	En poste
10	NGOS III Simon	Maître de Conférences	<i>D.A.A.C / UM</i>
11	NKOUMBOU Charles	Maître de Conférences	En poste
12	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
13	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Chargé de Cours	<i>Chef de Département, VD/DSSE</i>
14	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
15	BISSO Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Directeur P. Barrage Memvele</i>
16	EKOMANE Emile	Chargé de Cours	En poste
17	ESSONO Jean	Chargé de Cours	<i>C.E.A MINIMDT</i>
18	GHOGOMU Richard TANWI	Chargé de Cours	En poste
19	LAMILÉN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
20	LIENOU Gaston	Chargé de Cours	En poste
21	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	En poste
22	MOUAFO Lucas	Chargé de Cours	En poste
23	MOUNDI Amidou	Chargé de Cours	<i>Inspecteur 1. MINIMDT</i>
24	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargé de Cours	En poste
25	NGUETCHOUA Gabriel	Chargé de Cours	En poste
26	NJILAH Isaac KONFOR	Chargé de Cours	En poste
27	NJOM Bernard de Lattre	Chargé de Cours	En poste
28	NYECK Bruno	Chargé de Cours	En poste
29	ONANA Vincent	Chargé de Cours	<i>C.S. MINIMDT</i>
30	TCHAKOUNTE Jacqueline épse. NOUMBEM	Chargé de Cours	En poste
31	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Chargé de Cours	En poste
32	YENE ATANGANA Joseph Q.	Chargé de Cours	<i>Chef Div. MINFOF</i>
33	ANABA ONANA Achille Basile	Assistant	En poste
34	GANNO Sylvestre	Assistant	En poste
35	MBIDA YEM	Assistant	En poste
36	METANG Victor	Assistant	En poste
37	NGO BELNOUN Rose Noël	Assistante	En poste
38	NOMO NEGUE Emmanuel	Assistant	En poste
39	TCHAPTCHET TCHATO De Pesquidoux I	Assistant	En poste
40	TEHNA Nathanaël	Assistant	En poste
41	TENGA Jean Pierre	Assistant	En poste
42	ZO'O ZAME Philémon	Assistant	<i>S. G. MINTP</i>

Répartition chiffrée des enseignants permanents par Département

Département	Nombre d'enseignants				
	Pr	MC	CC	ASS	TOTAL
BC	2 (0)	6 (1)	16 (11)	16 (7)	40 (20)
BPA	7 (0)	6 (0)	14 (7)	20 (5)	47 (13)
BPV	1 (0)	6 (0)	11 (3)	8 (5)	26 (8)
C.I.	3 (0)	14 (2)	9 (1)	8 (2)	34 (5)
C.O.	11 (0)	6 (1)	13 (6)	7 (1)	37 (8)
IN	1 (0)	4 (1)	6 (0)	15 (4)	26 (5)
MA	5 (0)	2 (0)	19 (1)	13 (1)	39 (2)
MB	1(0)	2(0)	6(3)	3(0)	1(3)
PH	3 (0)	8 (0)	19 (3)	9 (1)	39 (4)
ST	2(0)	10 (1)	20 (3)	10 (1)	42 (5)
TOTAL	37 (0)	64 (6)	133 (38)	109 (28)	343 (72)

Soit un total de :

- Professeurs :
- Maîtres de Conférences
- Chargés de Cours
- Assistants :

343 (72) dont :

37 (0)

64 (6)

133 (38)

109 (28)

() = Nombre de femmes

DEDICACE

A la famille TAH' NGOUANA, étendue et nucléaire.

REMERCIEMENTS

Dans le cadre de la réalisation de ce travail, je voudrais adresser mes remerciements les plus sincères à mon Directeur de Thèse, Pr. AMOUGOU AKOA (in memoriam), du Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, pour m'avoir donné l'opportunité de m'engager dans ce programme de Doctorat/Ph.D. et de diriger ces travaux de recherches.

Ma profonde gratitude va également à Pr. YOUMBI Emmanuel, Chef du Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I et Chercheur au Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains (CARBAP) à Njombé (Cameroun), pour avoir accepté de codiriger ces travaux de recherche sur le terrain; son inlassable disponibilité et ses conseils sur les plans académique et technique m'ont permis de me réintégrer plus facilement en milieu universitaire, après plusieurs années de vie pratique sur le terrain.

Je suis particulièrement reconnaissant aux encouragements inlassables de Dr. NJOYA Jean, Chef de la Station IRAD de Njombé, qui depuis sa prise de fonction, n'a ménagé aucun effort pour faire des chercheurs de la Station placée sous son autorité, des scientifiques de haut niveau. Vivement que mes collègues suivent cet exemple.

Ma profonde gratitude et mes remerciements cordiaux vont également à Dr. KENGUE Joseph, Chargé de Recherches à la Station IRAD de Nkolbisson (Yaoundé) qui m'a beaucoup soutenu sur le double plan matériel et moral, particulièrement la volumineuse documentation qui a été vraiment indispensable pour la réalisation de ce travail sur le terrain; ses conseils, suggestions et sa permanente disponibilité ont beaucoup contribué à l'accomplissement de ce travail.

Je suis particulièrement reconnaissant à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Cameroun, qui à travers la convention de recherche signée avec la Banque Africaine de Développement (BAD), a mis à ma disposition des conditions et un cadre de travail propices pour la conduite de ces travaux de recherche.

J'apprécie indéfiniment le dévouement et le savoir-faire des contre-mâîtres et ouvriers de la Station IRAD de Njombé, qui ont bravé toutes les intempéries pour conduire de bout en bout les différentes opérations agronomiques impliquées dans le cadre de ce travail de recherches. A M. NGANKOUM Séverin (observateur), je suis particulièrement reconnaissant pour le sacrifice et la finesse avec lesquels vous avez procédé à la collecte de la plupart des données tout au long de ces travaux de recherche.

Mes remerciements vont également à tous mes collègues, chercheurs au CARBAP ou à l'IRAD, notamment Dr. TCHANGO TCHANGO (Paix à son âme) et Dr. NGOH NEWILAH Gérard, et MM. NOUPADJA, TCHIO, NGWA, et BADJEL, qui ont toujours été disponibles à la moindre sollicitation académique et/ou professionnelle: qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je suis très sensible aux efforts fournis par M. KOUDIEKONG Lazare, biométricien à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Station de Nkolbisson (Yaoundé, Cameroun), pour avoir contribué à l'analyse statistique des résultats de ce travail de recherche. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

A Dr. NGOUO Lucas Vincent, Chargé de Cours au Département de Biologie et Physiologie Végétales, Université de Yaoundé I, merci d'avoir encadré sur le terrain les premières étapes de ce travail, et marqué de votre empreinte les multiples efforts qui ont conduit à l'aboutissement de ces résultats de recherche.

Finalement, je remercie cordialement la famille SEGNOU qui a enduré mes multiples absences tout au long de ces travaux de recherche. Je resterai indéfiniment reconnaissant pour les encouragements que vous avez toujours manifestés à mon endroit, et les sacrifices d'avoir supporté tous seuls la plupart des responsabilités familiales.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

	Pages
Liste des enseignants permanents, Faculté des Sciences-----	i
Dédicace-----	xii
Remerciements-----	xiii
Sommaire-----	xv
Résumé-----	xiv
Abstract-----	xx
Liste des abréviations-----	xxi
Liste des tableaux-----	xxii
Liste des figures-----	xxiv
INTRODUCTION -----	1
CHAPITRE I. REVUE DE LA LITTÉRATURE-----	4
I.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS-----	5
I.1.1 Origine et distribution-----	5
I.1.2 Systématique-----	5
I.1.3 Biologie des organes de la croissance végétative-----	6
I.1.4 Biologie des organes reproducteurs-----	6
I.1.5 Constitution et gestion des ressources génétiques-----	9
I.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS DES PIMENTS-----	10
I.2.1 Ravageurs du piment-----	10
I.2.2 Maladies du piment-----	12
I.2.3 Appréciation des dégâts et des pertes-----	13
I.2.4 Méthodes et stratégies de lutte contre les maladies et ravageurs-----	13
I.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES -----	19
I.3.1 Définition-----	19
I.3.2 Multiplication sexuée-----	19
I.3.3 Quelques rappels biologiques-----	20
I.3.4 Qualité des semences-----	23
I.3.5 Essai des semences-----	26
I.3.6 Conditionnement et conservation des semences-----	27
I.3.7 Conditions de réussite d'un semis-----	30
I.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS-----	33
I.4.1 Définition-----	34

I.4.2 Principales caractéristiques pédologiques de la zone d'étude-----	34
I.4.3 Besoins et exigences en éléments nutritifs -----	34
I.4.4 Amélioration et entretien des capacités nutritives du sol-----	35
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES-----	44
II.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS-----	45
II.1.1 Constitution de la collection-----	45
II.1.2 Préparation des semences-----	45
II.1.3 Mise en place de la pépinière-----	47
II.1.4 Mise en place et conduite de l'essai-----	49
II.1.5 Sélection des caractères à observer-----	50
II.1.6 Méthode d'évaluation des caractères-----	53
II.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS DES PIMENTS-----	57
II.2.1 Matériel expérimental-----	57
II.2.2 Mise en place et conduite de l'essai-----	58
II.2.3 Analyse statistique des données-----	59
II.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES-----	59
II.3.1 Matériel expérimental-----	59
II.3.2 Mise en place de l'essai-----	60
II.3.3 Analyse statistique des données-----	61
II.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS-----	61
II.4.1 Matériel expérimental-----	61
II.4.2 Mise en place de l'essai-----	62
II.4.3 Variables observées et/ou mesurées -----	64
II.4.4 Analyse statistique des données-----	64
CHAPITRE III. RESULTATS-----	66
III.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS-----	67
III.1.1 Analyse en composante principale (ACP)-----	67
III.1.2 Caractéristiques agronomiques des accessions de piments-----	68
III.1.3 Analyse des coefficients de corrélation-----	69
III.1.4 Analyse factorielle des composantes multiples (AFCM)-----	71
III.1.5 Classification ascendante hiérarchique des 41 accessions-----	73
III.1.6 Evolution du nombre et du poids des fruits récoltés -----	75
III.1.7 Sensibilité des accessions de piment aux maladies et ravageurs-----	77

III.1.8 Pigmentation des fruits de la collection-----	79
III.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS DES PIMENTS-----	82
III.2.1 Sensibilité aux maladies virales-----	82
III.2.2 Sensibilité à la fusariose-----	83
III.2.3 Traitements chimiques et attaques des mouches de fruits-----	85
III.2.4 Traitements chimiques, composantes du rendement et rendement final -----	87
III.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES-----	88
III.3.1 Viabilité des semences-----	88
III.3.2 Développement végétatif des plantules-----	91
III.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS-----	95
III.4.1 Formules d'engrais et développement végétatif et reproductif-----	95
III.4.2 Doses d'engrais et développement végétatif et reproductif-----	96
III.4.3 Modes d'application d'engrais et développement végétatif et reproductif-----	97
III.4.4 Analyse économique des différents traitements-----	99
CHAPITRE IV. DISCUSSION -----	101
IV.1 CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES PIMENTS-----	102
IV.2 LUTTE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS DES PIMENTS-----	103
IV.3 VIABILITE DES SEMENCES ET DEVELOPPEMENT DES PLANTULES -----	106
IV.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE RENDEMENT EN FRUITS-----	108
CONCLUSION -----	111
ANNEXES-----	116
REFERENCES -----	120
Publications issues de la Thèse-----	130

RESUME

Au Cameroun, le piment (*Capsicum annuum* L.), jadis cultivée comme plante de jardin de case, est devenu une culture de diversification des exportations agricoles, mais les techniques culturales restent encore rudimentaires avec des rendements en fruits très faibles (2 à 3 t/ha).

En vue d'améliorer sa culture, une étude est menée sur la variabilité des caractères morphologiques de 41 accessions d'une collection, l'effet des traitements chimiques sur les maladies et ravageurs, la germination et le développement végétatif des plantules suivant le conditionnement des semences, et l'effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits.

Cette étude révèle qu'il existe une grande variabilité des caractères de la croissance végétative et du développement reproductif chez toutes les accessions.

Les différents traitements chimiques utilisés influencent beaucoup la sensibilité des différentes variétés de piment aux attaques des maladies virales, de la fusariose et des dégâts de mouches de fruits (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp.). Le nombre et le poids (g) de fruits sains récoltés sont significativement plus élevés dans les parcelles ayant reçu ces différents traitements chimiques, dans l'ordre décroissant: insecticide + fongicide, insecticide, fongicide, et finalement, le témoin n'ayant reçu aucun traitement chimique.

Le taux de germination des semences est élevé lorsqu'elles sont fraîchement extraites du fruit; les semences gardent ensuite plus longtemps leur viabilité lorsqu'elles sont conditionnées dans les sachets en aluminium, et la perte de viabilité est plus accélérée lorsque les semences sont conditionnées dans les sachets en papier et les sachets en polyéthylène.

L'engrais complexe NPK (19-4-16) est particulièrement important pour l'induction des organes aussi bien végétatifs que reproductifs des plants de piment, avec des rendements en fruits très élevés. Par ailleurs, NPK (19-4-16) appliqué 3 à 4 fois au cours des cycles végétatif et reproductif, donne les rendements en fruits les plus intéressants. Aussi, NPK (19-4-16) appliqué en dispersion régulière sous la frondaison à la même dose donne les rendements en fruits commercialisables les plus élevés. Avec des rendements améliorés de plus de 13 t/ha qui génèrent des revenus bruts supérieurs à 13 000 000 FCFA/ha, et des rapports bénéfice-coût élevés variant entre 5 et 6, la culture du piment peut donc être considérée comme une opportunité rentable pour les horticulteurs camerounais, capable d'améliorer de façon significative leur pouvoir d'achat et leur niveau de vie.

Mots-clés. *Capsicum annuum* L., morphologie, maladies et ravageurs, germination des semences, fertilisation.

ABSTRACT

In Cameroon, pepper (*Capsicum annuum* L.) previously cultivated as a home garden crop has become a diversification crop for agricultural exportation, but cropping techniques remain rudimentary with very low fruit yields (2 to 3 t/ha).

In order to improve its cultural practices, a study is carried out on the variability of morphological traits of 41 accessions of a pepper collection, the effect of chemical treatments for the control of pests and diseases, germination and seedling development from pepper seeds following storage in different packaging materials, and the effect of mineral and organic fertilization on fruit yield.

This study reveals that there is a great variability of both vegetative growth and reproductive development morphological traits in all the accessions.

The different chemical treatments used greatly influence the susceptibility of pepper varieties to viral and fungal diseases as well as fruitfly (*Ceratitis* spp., *Bactrocera* spp.) damages. The number and weight (g) of healthy fruits harvested are significantly higher in plots treated with the different chemicals, in the decreasing order as follows: insecticide + fungicide, insecticide, fungicide, and finally the control.

Germination is better in freshly extracted seeds. Thereafter, pepper seeds store best in laminated aluminium foil and poorest in paper and polyethylene packages.

Bulk fertilizer NPK (19-4-16) is very important for the induction of both the vegetative growth and reproductive development organs of pepper plants, leading to very high fruits yields. Moreover, NPK (19-4-16) applied 4 times during the vegetative and reproductive cycles gives interesting fresh fruit yields. Also, NPK (19-4-16) broadcasted regularly under the plant canopy at the above-mentioned dose gives the highest fresh fruit marketable yields. With improved yields of above 13 t/ha which generate gross revenues greater than 13 000 000 CFAF, and higher benefit-cost ratios varying between 5 and 6, pepper production may therefore be considered as a profitable opportunity for cameronian farmers, capable of improving significantly their purchasing power and living standards.

Keywords. *Capsicum annuum* L., morphology, pests and diseases, seed germination, fertilization.

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP: Analyse en Composantes Principales.

AFCM: Analyse Factorielle des Correspondances Multiples.

AMV: Analyse multivariée.

Anova: Analyse de la variance.

AVRDC: *Asian Vegetable Research and Development Center*, Taipei, Taiwan.

AOSA: *Association of Official Seed Analysts*.

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique.

CARBAP: *Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains*, Njombé, Cameroun.

CATIE: *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*, Turrialba, Costa Rica.

CEE: *Communauté Economique Européenne*.

CTA: *Centre Technique de Coopération Agricole et Rural*, Wageningen, Pays-Bas.

ENDA: Environnement Africain.

FAO: *Food and Agriculture Organization of the United Nations* / Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.

IBPGR: *International Board for Plant Genetic Resources*, Rome, Italie.

IITA: *International Institute for Tropical Agriculture* / Institut International d'Agriculture Tropicale, Ibadan, Nigeria.

IPGRI: *International Plant Genetic Resources Institute*, Rome, Italie.

IRAD: Institut de Recherche Agricole pour le Développement / *Institute of Agricultural Research for Development*, Cameroun.

ISTA: *International Seed Testing Association*, Zurich, Suisse.

NPK: Engrais composés (Azote, Phosphore, Potassium).

NRI: *National Resources Institute*, United Kingdom.

ORSTOM: *Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer* ; Yaoundé, Cameroun.

PDEA : *Projet de Développement des Exportations Agricoles*, Cameroun.

PME: Petites et Moyennes Entreprises.

PNUE: *Programme des Nations Unies pour l'Environnement*, Washington, Etats-Unis.

PROTA: *Plant Resources of Tropical Africa* / Ressources Végétales de l'Afrique Tropicale.

PVY: *Potato Virus Y*.

TSWV: *Tomato Spotted Wilt Virus*.

TYLCV: *Tomato Yellow Leaf Curl Virus*.

UNIFEM: *Fonds de Développement des Nations Unies pour la Femme*. Washington, Etats-Unis.

USI : Unités du Système International.

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I. Capacité germinative et établissement au champ de 5 lots de semences-----	25
Tableau II. Protection offerte par divers matériaux de conditionnement de semences convenablement fermés-----	30
Tableau III. Teneur en minéraux de la fumure organique (% de la matière sèche) de quelques animaux dans les fermes tropicales-----	38
Tableau IV. Compatibilité des engrais simples/amendements lors de la formulation des engrais composés-----	42
Tableau V. Teneur en nutriments des engrais minéraux (simples et composés) fréquemment utilisés en zone tropicale-----	43
Tableau VI. Codification et quelques caractères morphologiques des 41 accessions de piment collectées -----	46
Tableau VII. Caractères morphologiques observés et méthodes d'observation-----	51
Tableau VIII. Méthodes d'évaluation de la sensibilité des plants aux maladies et ravageurs-----	55
Tableau IX. Taux d'extraction des différents caractères quantitatifs utilisés pour le regroupement des 41 accessions de piments suivant leurs affinités morphologiques-----	67
Tableau X. Caractéristiques agronomiques des 41 accessions de la collection de piments-----	70
Tableau XI. Coefficients de corrélation entre le rendement en fruits et quelques caractères des composantes du rendement et du développement végétatif-----	71
Tableau XII. Tableau de contingence des différents caractères qualitatifs utilisés pour le regroupement des 41 accessions de la collection de piments en classes suivant leurs affinités morphologiques de l'AFCM-----	72
Tableau XIII. Répartition des 41 accessions de piments en 4 classes suivant leurs affinités morphologiques-----	74
Tableau XIV. Sensibilité des 41 accessions de la collection de piments aux maladies (virose, fusariose) et ravageurs (mouches de fruits) -----	80
Tableau XV. Analyse de la variance (carrés moyens et variable P) relative à l'incidence des maladies virales sur les populations de piments au cours de l'expérience-----	82
Tableau XVI. Effet des différents traitements chimiques sur la sensibilité à la fusariose des variétés de piments utilisées au cours de l'expérience-----	84

Tableau XVII. Analyse de la variance (carrés moyens et variable P) relative à l'incidence des mouches de fruits sur les populations de piment-----	86
Tableau XVIII. Effet des traitements chimiques sur les composantes du rendement et le rendement final -----	88
Tableau XIX. Développement végétatif des plantules de piment issues de semences conditionnées dans différents matériels-----	93
Tableau XX. Effet des formules d'engrais sur le développement végétatif et reproductif-	95
Tableau XXI. Effet des différentes doses d'engrais sur le développement végétatif et reproductif des plants de piment-----	97
Tableau XXII. Effet de différents modes de placement d'engrais sur le développement végétatif et reproductif des plants de piment-----	98
Tableau XXIII. Analyse économique des différents traitements-----	100

LISTE DES FIGURES

	PAGES
Fig. 1. Les différentes formes de feuilles chez le piment (Anonyme, 1995) -----	7
Fig. 2. Les différents ports végétatifs chez le piment (Anonyme, 1995) -----	7
Fig. 3. Les différentes positions de l'inflorescence chez le piment à l'anthèse (Anonyme,1995) -----	8
Fig. 4. Les différentes formes de fruits chez le piment (Anonyme, 1995) -----	8
Fig. 5 Carte pédologique de la zone d'étude (Moungo) -----	36
Fig. 6. Vue générale des plantules de piment au germeoir-----	47
Fig. 7. Vue générale des plants de piment en pépinière-----	48
Fig. 8. Projection des caractères quantitatifs mesurés dans le plan formé par les deux premiers axes factoriels issus de l'ACP-----	68
Fig. 9. Représentation graphique des 41 accessions de la collection de piments regroupés en 4 clusters en fonction de leurs caractères qualitatifs les plus dis- criminatoires , dans les deux premiers axes de l'AFCM-----	73
Fig. 10. Dendrogramme des classes ascendantes hiérarchiques des 41 accessions de la collection de piments suivant leurs affinités morphologiques-----	76
Fig. 11. Evolution du nombre et du poids moyens (kg) des fruits récoltés par parcelle (20 plants) de deux accessions de piment au cours du cycle reproductif (a = CPC14 et b = CPC29) -----	78
Fig. 12. Pigmentation des fruits de la collection de piments avant la matu- ration (a) et après la maturation (b) -----	81
Fig. 13. Incidence des maladies virales sur les plants de piment au cours du temps -----	83
Fig. 14. Incidence de la fusariose sur les plants de piment au cours du temps -----	85
Fig. 15. Incidence des mouches de fruits sur les plants de piment au cours du temps -----	87
Fig.16: Effet du temps de conservation sur la viabilité des semences de piments (a = Safi; b = Big sun; c = Thaïlande; d = Local) -----	90