

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union - Discipline - Travail

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Institut National Polytechnique

Félix HOUPHOUËT-BOIGNY



THESE DE DOCTORAT

Présentée pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FELIX
HOUPHOUËT-BOIGNY**

Spécialité : SCIENCES AGRONOMIQUES ET GENIE RURAL

Option: Défense des cultures

Par TRAORE Brahima

THESE N° 054/2020

INCIDENCE D'UNE IRRIGATION D'APPOINT SUR L'ETAT SANITAIRE
ET LE RENDEMENT DU COTONNIER (*Gossypium hirsutum* L., 1763) AU
NORD DE LA COTE D'IVOIRE, DANS LE CONTEXTE DU
CHANGEMENT CLIMATIQUE

Soutenue publiquement le 07 février 2020 devant le jury composé de :

ZEZE Adolphe	Professeur Titulaire, INP-HB	Président
POHE Jean	Maître de Conférences, INP-HB	Directeur de thèse
ALLOU Kouassi	Directeur de Recherche, CNRA	Rapporteur
TONESSIA Dolou Charlotte	Maître de Conférences, UJLoG	Rapporteur
OCHOU Ochou Germain	Directeur de Recherche, CNRA	Examineur

Résumé

L'objectif global de cette étude était d'inventorier et d'identifier les populations de ravageurs et de pathogènes sur la culture du coton, d'évaluer leurs incidences sur la production, suite à l'introduction d'un système d'irrigation d'appoint. Ainsi, sur la période de 2017 à 2018, a été installé un essai à Nidieou dans le nord de la Côte d'Ivoire, avec un dispositif en bloc complètement randomisé, comportant 4 traitements et 3 répétitions. Il s'agit de T0: non traité, T1: apport de produits agro-pharmaceutiques sans irrigation, pratique actuelle de production, T2: irrigation d'appoint et apport de produits agro-pharmaceutiques, T3: irrigation d'appoint uniquement. Une analyse de sol pour connaître sa composition et les doses des fertilisants minéraux nécessaires ont été associées à l'essai. Aussi, les poches de sécheresse hydriques ont été évitées avec des irrigations ponctuelles. Les hauteurs des plants, les densités des plants, le nombre de capsules et de loges par capsule, composantes de la production, cibles des ravageurs et pathogènes, ont été évaluées. Les ennemis du cotonnier ont été identifiés et comptés ainsi que leurs dégâts. Enfin, la production en coton graine a été quantifiée. Toutes ces dispositions ont conduit aux résultats suivants. Sept (7) des espèces de ravageurs connus sur le cotonnier, au cours des observations, ont été identifiées, avec une augmentation du niveau d'attaque des capsules dans les parcelles sous irrigation d'appoint, car $13 \pm 2,2$ % des capsules de T2 ont été attaquées, quand seulement $4,6 \pm 2,2$ % de celles de T1 ont été attaquées. Ni *Pythium*, responsable de fonte de semis, ni *Fusarium*, agent de flétrissement, deux champignons connus en Côte d'Ivoire sur le cotonnier n'étaient présents. Les analyses du sol laissent comprendre que le milieu n'était probablement pas favorable à leur développement. De même, la virescence florale n'a pas été observée, malgré la présence de piqueurs suceurs, vecteurs potentiels de l'agent pathogène. Quant aux composantes de la production, entre T1 et T2, la hauteur des plants, leur densité à la récolte, le nombre de capsules par plant et le rendement en coton graine ont été respectivement de $88,58 \pm 1,78$ contre $96,08 \pm 1,78$ cm (+8,47 %) au 73^{ème} jour après semis; $53934 \pm 1260,78$ contre $67593 \pm 1260,78$ plants par ha (+25,32 %); $23,11 \pm 0,81$ contre $26,39 \pm 0,81$ capsules par plant (+14,19 %) et $1616,26 \pm 67,86$ contre $2657,77 \pm 67,86$ kg/ha (+64,44 %). Il est apparu, entre les parcelles T2 et les autres, une différence significative entre les rendements moyens en coton graine. En outre, l'estimation financière a permis de montrer que le revenu net issu de l'innovation a été de 53,5 % supérieur à celui de la pratique paysanne. Ainsi, dans les limites de cette étude, l'irrigation d'appoint peut être introduite, dans le système de culture cotonnière, en zone cotonnière médiane Côte d'Ivoire, sans entrave parasitaire.

Mots clés : Irrigation d'appoint, ravageur, pathogène, rendement, coton

Abstract

The study main objective was to inventory and identify pests and pathogens populations on cotton growing, to assess their damage on production, following introduction of a complementary irrigation system. Thus, from 2017 to 2018, a trial was installed in Nidieou, a north of Côte d'Ivoire site, with a completely randomized bloc, including 4 treatments and 3 replications. These are T0: untreated, T1: supply of crop protection products and fertilizers (CPP-F) without irrigation, current farming practice, T2: complementary irrigation and supply of CPP-F, T3: complementary irrigation only. Soil analysis to know its composition and the doses of necessary mineral fertilizers were associated with the test. Also, water drought pockets have been avoided with occasional irrigation. Plant heights, plant densities, bolls number and lodges number per bolls, which are production components targeted by pest and pathogen, were assessed. Cotton's enemies are identified and counted along with their damage. Finally, seed cotton production was quantified. All these arrangements have led to the following results. 7 of known pest species on cotton, during observations, were identified, with an increase in level of bolls attack in plots under complementary irrigation, since 13 ± 2.2 % of T2 bolls per plant were damaged, when only 4.6 ± 2.2 % of T1's ones had been attacked. Fungi responsible for damping-off from *Pythium* genus and wilts named *Fusarium*; both known in Ivory Coast on cotton were not present. Soil analysis suggests that environment was not suitable for their development. Floral turning (virescence) was also not present, despite proliferation of sucking insect, disease potential vectors. As for production components and yield, Between T1 and T2, height plants, their density at harvest, number of bolls per plant and seed cotton yield were respectively 88.58 ± 1.78 against 96.08 ± 1.78 cm (+ 8.47 %) on the 73rd day after sowing; $53,934 \pm 1,260.78$ compared to $67,593 \pm 1,260.78$ plants per ha (+ 25.32 %); 23.11 ± 0.81 versus 26.39 ± 0.81 bolls per plant (+ 14.19 %) and 1616.26 ± 67.86 versus 2657.77 ± 67.86 kg / ha (+ 64.44 %). Between T2 plots and others, a significant difference appeared between average seed cotton yields. In addition, the financial estimate showed that the net income from innovation was 53.5 % higher than that of peasant farming. Complementary irrigation can be introduced into the cotton growing system in Côte d'Ivoire's cotton production area middle, without parasitic interference.

Keywords: Complementary irrigation, pest, pathogen, yield, cotton

Remerciements

La présente thèse est l'aboutissement d'un long parcours parsemé d'adversités. C'est pour cette raison que l'occasion ici offerte, de remercier tous ceux qui m'ont aidé et soutenu, représente pour moi, un réel plaisir. Ma reconnaissance est, en premier lieu, à l'endroit de mon Directeur de thèse, Dr POHE Jean (Maître de conférences à l'Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny de Yamoussoukro (INP-HB)), qui par son soutien a permis à ce travail de voir le jour. Son attention, sa disponibilité, ses conseils et au-delà, son intérêt, ont été d'un apport précieux pour ma thèse ; qu'il en soit honoré.

Mes remerciements, également à l'endroit de Professeur ASSIDJO Nogbou Emmanuel, à l'INP-HB de Yamoussoukro, ses encouragements quotidiens m'ont permis de garder le cap et de ne pas fléchir face aux difficultés. Cher frère et compagnon de l'école préparatoire des années BioMathSup et BioMathSpé, et Ingénieurs en Agronomie, je te remercie pour cette énergie positive que tu sais transmettre par tes encouragements. Egalement, je souhaite exprimer toute ma gratitude à mon frère Dr TIHO Tagouèlbè, Enseignement Chercheur au département Agriculture et Ressources Animales de l'INPHB de Yamoussoukro, qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de cette thèse. Il a donné des orientations sur les données à collecter, aidé à la rédaction de l'article scientifique par son expérience avisé. Son engagement total par ses avis pertinents et son intérêt maint fois démontré ont été d'une contribution très significative à l'avancée de mes travaux. A Dr N'GATTA Zégoua Régis, Enseignement Chercheur au département Agriculture et Ressources Animales de l'INPHB de Yamoussoukro, j'adresse tous mes remerciements pour ses interventions déterminantes dans mes orientations. Je dis merci au personnel de la direction de l'EDP de Yamoussoukro pour le soutien manifeste à l'égard de ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement ces grandes intelligences qui ont fait des critiques positives pour l'amélioration scientifique de la copie finale. Que Dr Kouadio K. Theodore (Maître de Conférences à l'INP-HB de Yamoussoukro) qui a pris de son temps pour la lecture du manuscrit en interne reçoive mes sincères remerciements. Singulièrement, que Dr ALLOU Kouassi (Directeur de Recherche au CNRA) et Dr TONESSIA Dolou Charlotte (Maître de Conférences à l'Université de Daloa) trouvent ici la marque de leurs immenses contributions. Je vous prie de recevoir mes remerciements et ma profonde reconnaissance.

Je prie également le Professeur ZEZE Adolphe (Professeur Titulaire à l'INP-HB) et Dr OCHOU Ochou Germain (Directeur de Recherche au CNRA) de recevoir mes remerciements et ma profonde reconnaissance. Cette thèse est également de beaucoup redevable à la Société cotonnière, Ivoire Coton, pour sa contribution significative à nos travaux. Les Directeurs et agents du département technique ont soutenu la conduite des travaux d'expérimentation, en me remettant les informations sollicitées et en apportant l'expertise technique nécessaire à la conduite des travaux sur les parcelles d'expérimentation.

Aux populations du village de Nidieou, à tous mes amis et collègues, à ma famille, je tiens à dire que leurs appuis et leurs soutiens m'ont été d'un apport inestimable. A tous les membres de mon jury de thèse, Je tiens également à dire merci.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract	ii
Remerciements	iii
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Sigles et abréviations.....	xi
Introduction.....	1
Chapitre 1: Culture du coton	3
1-1- Généralités sur la culture du coton	3
1-1-1- Classification et historique.....	3
1-1-2-Technique de production	5
1-2- Importance du coton	14
1-2-1- A l'échelle mondiale.....	14
1-2-2- Place du coton en Afrique.....	15
Chapitre 2 : Coton en Côte d'Ivoire.....	17
2-1- Généralités sur la filière coton ivoirienne.....	17
2-2- Libéralisation de la filière coton en Côte d'Ivoire.....	18
2-3- Place du coton en Côte d'Ivoire.....	20
2-4- Caractéristique des exploitations	21
2-4-1- Au niveau national	21
2-4-2- Au niveau des producteurs.....	22
Chapitre 3: Contraintes liées à la production du coton	24
3-1- Variabilités climatiques et Pluviosité	24
3-1-1- Aspects environnementaux.....	24
3-1-2- Culture du coton et irrigation	25
3-2- Période des semis.....	29
3-3- Impact des ravageurs et maladies	30
3-3-1-Ravageurs.....	30
3-3-2 –Maladies du cotonnier	33
3-4- Evolution des rendements	36
3-4-1- Rendements.....	36
3-4-2- Qualité du coton.....	37
3-4-3- Contraintes de commercialisation.....	38
Chapitre 4: Changement climatique.....	40
4-1- Définition du concept.....	40

4-1-1- Constat du réchauffement planétaire	40
4-1-2- Causes du changement climatique	41
4-2- Effet du changement climatique.....	42
4-2-1- Aspect environnemental	42
4-2-2- Impact sur les populations	44
4-2-3- Impact sur la production agricole	46
4-3- Adaptations aux effets du dérèglement climatique	51
4-3-1- Au niveau international.....	51
4-3-2- Au niveau régional.....	52
Chapitre 5: Problématique de la culture du coton dans le contexte de la variabilité climatique	54
5-1- Innovation et politiques agricoles.....	54
5-2- Conditions environnementales.....	55
5-3- Productivité des exploitations cotonnières.....	55
5-4- Pression des ravageurs et maladies sur la culture.....	56
5-5- Problématique de recherche.....	57
5-6- Justification de la problématique.....	57
5-7- hypothèses de recherche.....	60
Chapitre 6 : Activités expérimentales	61
6-1- Dispositif expérimental.....	61
6-1-1- Site expérimental	62
6-1-2- Matériel d'irrigation.....	62
6-2- Méthodologie.....	66
6-2-1- Parcelle expérimentale.....	66
6-2-2- Méthode d'échantillonnage.....	67
6-2-3- Analyses d'échantillons de sol et corrections	68
6-2-4- Exécution des travaux.....	71
6-2-5- Observations phytosanitaires	71
6-2-6- Analyse statistique	72
Chapitre 7 : Résultats	74
7-1- Au niveau de l'expérimentation.....	74
7-1-1- Période de semis et pluviométrie	74
7-1-2- Croissance végétative	75
7-1-3- Formation des capsules.....	76
7-1-4- Nombre de loges par capsules	77
7-1-5- Attaques parasitaires des capsules	77
7-1-6- Densité de plantation	78

7-1-7- Poids moyen capsulaire	79
7-1-8- Rendement en coton graine.....	79
7-2- Au niveau financier et économique	80
7-2-1- Du point de vue financier.....	80
7-2-2- Les ratios économiques.....	82
Chapitre 8: Discussion	85
8-1- Irrigation et conditions ambiantes.....	85
8-1-1- Irrigation.....	85
8-1-2- Conditions ambiantes.....	86
8-2- Densité de plantation	87
8-3- Croissance.....	87
8-4- Fertilisation	88
8-5- Nombre moyen de capsules par plant.....	88
8-6- Rendement	90
8-7- Ennemis de la culture.....	91
8-7-1- Au sujet des ravageurs.....	91
8-7-2- Au niveau des maladies.....	92
8-8- Observation générale	94
Conclusion et perspectives.....	96
Références Bibliographiques... ..	98
Annexes.....	108

Liste des figures

Figure 1 : Zones de production cotonnière (Nord, Médiane et Sud).....	18
Figure 2 : Carte du zonage Agro-industriel du bassin cotonnier.....	20
Figure 3 : Diagramme de détermination du type de sol à partir de la granulométrie.....	25
Figure 4 : Différentes phases du cycle de la culture.....	29
Figure 5 : Dégâts de <i>Helicoverpa</i>	31
Figure 6 : Dégâts de <i>Diparopsis</i>	31
Figure 7 : <i>Bemisia</i> (Mouche blanche)	31
Figure 8 : Dégâts d'acariens (<i>Polyphagotarsonemus</i>)	31
Figure 9 : Dégâts de pucerons	32
Figure 10 : <i>Aphis</i> (Pucerons).....	32
Figure 11 : <i>Disdercus</i> sur capsule de cotonnier (PR-PICA, 2019).....	32
Figure 12 : <i>Disdercus spp</i>	32
Figure 13 : Décoloration vasculaire caractéristique d'une tige de coton infectée par <i>Fusarium oxysporum f. sp.vasinfectedum</i> (gauche) et tige saine (droite).	35
Figure 14 : Nécrose et chlorose (fusariose sur cotonnier).....	36
Figure 15 : Flétrissement de cotonnier (Fusariose).....	36
Figure 16 : Introduction et établissement de <i>Spodoptera frugiperda</i> en Afrique	47
Figure 17 : Emissions agricoles par secteur et les contributions totales de l'AFOLU.....	49
Figure 18 : Période végétative (DPC) en 2001 et 2016.....	58
Figure 19 : Période végétative (DPC) sur les périodes de 4 ans (1998-2001 et 2014-2017) ...	59
Figure 20 : Période végétative (DPC) par zone écologique en 2017	60
Figure 21 : Localisation du site d'expérimentation à Nidieou	61
Figure 22 : Rampe d'arrosage	63
Figure 23 : Asperseur Model 5022.....	63
Figure 24 : Panneau solaire et réservoir de 1000 litres	64
Figure 25 : Pluviomètre.....	64
Figure 26 : Dispositif expérimental par blocs et parcelles élémentaires.....	67
Figure 27 : Détermination du type de sol (sol limon-sableux).....	69
Figure 28 : Pluviométrie et ETP/2 des zones de Bouaké et Korhogo en 2017.....	71
Figure 29 : Pluviométrie moyenne mensuelle sur zone d'expérimentation par rapport à précipitations totales sur parcelles irriguées.....	75
Figure 30 : Tailles moyennes des plants du semis jusqu'au 73ème jour après semis.....	76

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification du cotonnier cultivé (genre <i>Gossypium</i>).....	3
Tableau 2 : Localisation des espèces du genre <i>Gossypium</i>	4
Tableau 3 : Superficie, production et rendement Superficie, production et rendement en Coton graine en Afrique et dans le monde	7
Tableau 4 : Superficie cultivées et production cotonnière au Bénin, Burkina Faso et Côte d'Ivoire de 2015 à 2017	8
Tableau 5 : Superficie cultivées et production cotonnière en Gambie, au Ghana et en Guinée de 2015 à 2017	9
Tableau 6 : Superficie cultivées et production cotonnière en Guinée-Bissau, au Mali et au Niger de 2015 à 2017	9
Tableau 7 : Superficie cultivées et production cotonnière au Nigéria, au Sénégal et au Togo de 2015 à 2017.....	10
Tableau 8 : Caractéristiques de quelques variétés de coton	11
Tableau 9 : Historique de la Production de coton en Côte d'Ivoire de 1997 à 2017	21
Tableau 10 : Nombre de producteurs et superficies réalisées en campagne 2018-2019.....	22
Tableau 11 : Répartition des producteurs par tranche de superficie moyenne des exploitations et par Campagne (IVOIRE COTON)	23
Tableau 12 : Description des différentes méthodes d'irrigation	26
Tableau 13 : Efficacité d'utilisation de l'eau selon différents systèmes d'irrigation	27
Tableau 14 : Condition de développement des pathogènes responsables de maladies chez le cotonnier	35
Tableau 15 : Production en coton graine en Côte d'Ivoire campagne 2018-2019.....	37
Tableau 16 : Critères de détermination de la qualité du coton graine	37
Tableau 17 : Prix d'achat (FCFA) du kilogramme de coton graine en Afrique de l'ouest campagne 2018-2019	38
Tableau 18 : Distribution de la population mondiale en 2005 en projection pour 2050, par grands groupes d'âge et aire géographique (en pourcentage)	44
Tableau 19 : Paramètres de distribution des asperseurs	62
Tableau 20 : Valeurs indicatives d'ETo (mm/jour).....	65
Tableau 21 : Matières actives des produits agro-pharmaceutiques utilisés pour les traitements	66
Tableau 22 : Objets de l'expérimentation	66

Tableau 23 : Dispositif expérimental par blocs et parcelles élémentaires	67
Tableau 24 : Résultat d'analyse d'échantillon de sol	68
Tableau 25 : Caractéristiques des équilibres chimiques du sol de la parcelle expérimentale ..	70
Tableau 26 : Apport en fertilisants minéraux principaux NPK.....	70
Tableau 27 : Quantité de nutriments exportés pour une tonne de matières sèches de cotonnier entier (Kg/ha)	70
Tableau 28 : Quantité de nutriments exportés pour une tonne de matières sèches de graine de cotonnier (Kg/ha)	71
Tableau 29 : Températures moyennes mensuelles sur site expérimental en 2018.....	74
Tableau 30 : Humidité relative et vitesse de vent moyennes mensuelles sur site expérimental en 2018.....	74
Tableau 31 : Pluviométrie et données d'irrigation complémentaire en 2018	74
Tableau 32 : Récapitulatifs des ravageurs et maladies par traitement de l'expérimentation ...	78
Tableau 33 : Pourcentage de Densité moyenne de plants par ha à la récolte (Stand)	79
Tableau 34 : Paramètres financiers pour budget d'exploitation.....	80
Tableau 35 : Temps de travail maximal de différentes opérations (jours/ha)	81
Tableau 36 : Charges financières des produits agro-pharmaceutiques, campagne 2018-2019	81
Tableau 37 : Charges financières des fertilisants et matériels, campagne 2018-2019.....	81
Tableau 38 : Paramètres financier du prix d'achat de coton graine campagne 2018-2019.....	82
Tableau 39 : Détermination des ratios.....	82
Tableau 40 : Simulation de perte de récolte et efficacité de traitement	83
Tableau 41 : Estimation des efficacités d'utilisation de l'eau (EUE) par traitement	84

Sigles et abréviations

AFD:	Agence Française de Développement
AFFICOT :	Association des Faïtières de la Filière Coton
AFOLU :	Agriculture, Forestry and Other Land Use (désigne une catégorie d'émission de GES)
AOF :	Afrique Occidentale Française
APROCOT-CI:	Association Professionnelle des Sociétés cotonnières de la Filière Coton de Côte d'Ivoire
ARECA:	Autorité de Régulation du Coton et de l'Anacarde
BAD:	Banque Africaine de Développement
BCGA :	British Cotton Growers Association
BCR :	Blocs Complètement Randomisés
BNETD:	Bureau National d'Etudes Techniques et Développement
CASA :	Commission Africaine des statistiques Agricoles de la FAO
CCIC :	Comité Consultatif International du Coton
CCA :	Conseil Coton-Anacarde
CCI-CI :	Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire
CFDT :	Compagnie Française pour le Développement des textiles
CG :	Coton graine
CIDT:	Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles
CNRA :	Centre National de Recherche Agronomique
CNRA:	Centre National de Recherche Agronomique
COTIVO :	Société Cotonnière de Côte d'Ivoire
DOPA :	Développement des Opérations Agro-industrielles
DR :	Direction Régionale
DTA :	Directeur Technique Agricole
DUS :	Droit Unique de Sortie
ESA INP-HB :	Ecole Supérieur d'Agronomie de l'institut National Polytechnique Houphouët Boigny
EU :	Encyclopedia Universalis
FAO :	Fonds des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture
FIRCA :	Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricole
FTG :	Filature et Tissage de Gonfreville
GES :	Gaz à Effet de Serre
GIEC:	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GISTEMP :	GISS Surface Temperature Analysis
IC :	Ivoire Coton
IITA :	Institut International d'Agriculture Tropicale
INPN :	Inventaire National du Patrimoine Naturel
INTERCOTON :	Interprofession de la Filière Coton
INS :	Institut National de la statistique
IRAM :	Institut de Recherche et d'Application des Méthodes de développement
IRCT :	Institut de Recherche sur le Coton et les Textiles Tropicaux

ITIS :	Integrated Taxonomic Information System
IVTEX :	Société Ivoire Textile
J.C.:	Jésus Christ
JIC :	Jain Irrigation Company (NAANDANJAIN)
LCCI :	La Compagnie Cotonnière Ivoirienne
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
OCDE :	Organisation de Coopération et de Développement Economique
OMC :	Organisation mondiale du commerce
ONU :	Organisation des Nations Unies
OPA :	Organisation Professionnelle Agricole
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le développement
PNUE :	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PIB :	Produit Intérieur Brut
PR-PICA :	Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique
SICOSA :	Société Industrielle Cotonnière des Savanes
TRITURAF :	Société de Trituration de Grains Oléagineux
UCEA-CI :	Union des Coopératives des Exploitants Agricoles de Côte d'Ivoire
UCOOPAG-CI :	Union des Coopératives des Agriculteurs de Côte d'Ivoire
URECOS-CI :	Union Régionale des Entreprises Coopératives de la zone des Savanes de Côte d'Ivoire
UIRECOOPAG :	Union Interrégionale des Coopératives Agricoles
USA :	United State of America (Etats Unis d'Amérique)

Introduction

Les changements climatiques ont fortement affecté les activités de production agricole en Afrique de l'ouest. En Côte d'Ivoire, la période de semis du coton, du 20 mai au 20 juin de l'année courante, préconisée (CNRA, 2006), n'est plus respectée. Parallèlement, dans son magazine d'information, Intercoton (2017) en Côte d'Ivoire, estime à 96106, le nombre de producteurs de coton, pour la campagne 2016-2017. A ce niveau, la production de coton graine, enregistrée au 03 novembre 2016 a été de 293514,910 tonnes. En termes de revenus financiers, cela représente plus de quatre-vingt-six milliards de francs CFA (FCFA) distribués aux producteurs ivoiriens pour la campagne 2016-2017 et cent huit milliards de FCFA pour 2017-2018 (Ministère de l'agriculture, 2018).

Or, c'est cette importante activité génératrice de revenus, qui est menacée de rupture par les aléas du changement climatique. En effet, la 8^{ème} session du colloque scientifique du Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique (PR-PICA, 2015), mentionne, pour la Côte d'Ivoire, que 95 % des semis ont eu lieu en juin 2014 contre 80 % en juin 2013. Ce manque d'eau au début du cycle entraîne des semis tardifs à risque. Ainsi en 2014 est survenue la dégradation de la qualité de la fibre de coton suite à d'abondantes pluies en fin de cycle (PR-PICA, 2015). La conséquence immédiate ayant été la baisse du revenu des agriculteurs. Parallèlement, cette situation pourrait affecter l'activité des usines d'égrenage dont la production est intimement liée à la quantité et à la qualité de la matière première que constitue le coton graine.

Aussi, l'introduction d'une irrigation d'appoint dans le cycle cultural, est-elle une des solutions suggérées pour conduire correctement la culture à son terme. Une telle opportunité devrait apporter à l'agriculteur une plus grande flexibilité dans la gestion des rotations culturales, augmentant ainsi sa productivité. Toutefois, cela pourrait entraîner de nouvelles conditions environnementales, pouvant avoir une incidence sur la pullulation des ravageurs et l'émergence des maladies. Au nombre des nuisibles du cotonnier, se trouvent des champignons du sol, tels que *Pythium spp.*, responsables de fonte de semis, *Fusarium spp.*, agent du flétrissement des plants et les pathogènes qui provoquent la virescence florale. De même, les ravageurs rencontrés sur le cotonnier, dans le monde en général et en Côte d'Ivoire en particulier, sont nombreux. D'ailleurs, le PR-PICA (2015) a mentionné, pour la Côte d'Ivoire, la présence de jassides, potentiel vecteurs de cette virose, sur toute la durée du cycle cultural.

Ainsi, le microclimat consécutif à l'apport supplémentaire d'eau, pourrait influencer la présence de ravageurs et de maladies de même que leur action de dégradation du rendement. Aussi, le présent travail va-t-il vérifier l'hypothèse selon laquelle l'irrigation d'appoint permettrait d'augmenter de façon significative le rendement du cotonnier sans entrave parasitaire. D'où, la nécessité de la conduite d'une étude qui a permis d'observer divers paramètres, dans le but de comparer la pratique courante à l'innovation que constitue l'irrigation d'appoint.

C'est dans ce contexte qu'une expérimentation initiée en milieu réel, en zone de production cotonnière dans le nord de la Côte d'Ivoire, a été conduite de 2017 à 2018. Ainsi, l'objectif global de ce travail a été d'observer les infestations parasitaires et les attaques de ravageurs, tout en évaluant l'impact d'une irrigation d'appoint sur la production du cotonnier. Il s'est agi spécifiquement d'examiner les composantes du rendement dont la densité de plants, le nombre de capsules par plant, le poids moyen capsulaire et le nombre de loge par capsule, composantes sur lesquelles agissent les ravageurs et les pathogènes. De plus, parallèlement à l'inventaire des ravageurs et des pathogènes, le rendement en coton graine a été quantifié.

Finalement, Le présent document, s'articule comme suit. Après une partie introductive, se trouve une synthèse bibliographique permettant de situer le problème spécifique de recherche, suivit d'un exposé de la méthodologie et du matériel de travail. Ensuite, viennent les résultats des expérimentations puis la discussion. Enfin, arrive la conclusion, articulée à des recommandations permettant d'ouvrir ce travail à des perspectives de réflexion sur le sujet de la production cotonnière sous la contrainte du changement climatique.

PREMIERE PARTIE :
REVUE DE LITTERATURE

Chapitre 1: Culture du coton

1-1- Généralités sur la culture du coton

1-1-1- Classification et historique

Les cotonniers sont des dicotylédones arbustives, dont la taille varie de 0,8 à 2 mètres de hauteur (Encyclopedia Universalis (EU), 2019). Cultivé comme plante annuelle, le cotonnier produit à maturité une graine entourée de fibre (CNRA, 2006). Cette fibre est séparée de la graine par un processus d'usinage appelé égrenage, dont l'efficacité est évaluée par le taux de rendement en fibre (Ducroquet et *al.*, 2017). Ainsi isolée, la graine est utilisée comme matière première par les huileries, la fibre quant à elle, est consommée par les industries textiles et pharmaceutiques (Djimasra, 2012).

De fait, les différents usages du coton et des graines supposent la disponibilité en quantité et en qualité de ces produits. Aussi une sélection s'est-elle produite au fil des ans pour ne retenir que quelques espèces dont *Gossypium hirsutum*. En somme, le Cotonnier appartient à l'Ordre des Malvales, à la Famille des Malvacées, au genre *Gossypium* (Martin, 1970). L'une des espèces les plus utilisées en culture est *Gossypium hirsutum* L., 1763 (CNRA, 2006).

1-1-1-1- Classification

Les organisations, Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN, 2018) et Integrated Taxonomic Information System (ITIS, 2019), donnent, pour le cotonnier, la taxonomie du genre *Gossypium* (tableau 1). En outre, Konan et Mergeai (2007) ont dressé une liste de différentes espèces localisées à travers le monde (Tableau 2).

Tableau 1 : Classification du cotonnier cultivé (genre *Gossypium*)

Règne	Plantae
Embranchement	Tracheophyta
Classe	Equisetopsida C.Agardh, 1825
Ordre	Malvales Juss. Ex Bercht. et J.Presl, 1820
Famille	Malvaceae Juss., 1789
Genre	<i>Gossypium</i> L., 1753
Espèce	<i>Gossypium hirsutum</i> L., 1763

Source : INPN (2018) ; ITIS (2019)

Tableau 2 : Localisation des espèces du genre *Gossypium*

Localisation	Espèces
Espèces cultivées asiatiques et africaines	<i>G. herbaceum</i> et <i>G. arboreum</i>
Espèces sauvages typiquement africaines	<i>G. anomalum</i> , <i>G. triphyllum</i>), <i>G. barbosanum</i> <i>G. capitis-viridis</i>
Espèces sauvages australiennes	<i>G. sturtianum</i> , <i>G. robinsonii</i> , <i>G. nandewarense</i> <i>G. thurberi</i> , <i>G. armourianum</i> , <i>G. harknessii</i> , <i>G. davidsonii</i> , <i>G. klotzschianum</i> , <i>G. aridum</i> , <i>G. raimondii</i> , <i>G. gossypioïdes</i> , <i>G. lobatum</i> , <i>G. trilobum</i> , <i>G. laxum</i> , <i>G. turneri</i> , <i>G. schwendimanii</i>
Espèces sauvages américaines	<i>G. stocksii</i> , <i>G. somalense</i> , <i>G. areysianum</i> , <i>G. incanum</i> , <i>G. benadireense</i> , <i>G. bricchettii</i> , <i>G. vollesenii</i>
Espèces sauvages d'Arabie et de la corne de l'Afrique	<i>G. longicalyx</i>
Espèce sauvage d'Afrique de l'Est	<i>G. bickii</i> , <i>G. australe</i> , <i>G. nelsonii</i>
Espèces sauvages australiennes	<i>G. costulatum</i> , <i>G. cunninghamii</i> , <i>G. enthyale</i> , <i>G. exgiuum</i> , <i>G. nobile</i> , <i>G. pilosum</i> , <i>G. populifolium</i> , <i>G. pulchellum</i> , <i>G. rotundifolium</i> , <i>G. sp. Novum</i>
Espèces sauvages du Nord de l'Australie	<i>G. hirsutum</i> , <i>G. barbadense</i>
Espèces cultivées d'Amérique	<i>G. tomentosum</i>
Espèces sauvages des Iles Hawaii	<i>G. mustelinum</i>
Espèces sauvages du Brésil	<i>G. darwinii</i>
Espèces sauvages Ile Galapagos	

Source: Konan et Mergeai (2007)

1-1-1-2- Historique

Les variétés cultivées actuellement ont une origine lointaine. En effet, selon Martin (1970), la longueur du lint primitif des cotonniers d'Asie ne valait certainement pas plus que 1,25 cm. De teinte probablement grise ou brune, il aurait pu entrer dans la conception des mèches de lampe ou comme garniture pour des produits en lin ou en laine (Martin, 1970). Suite à des améliorations progressives, le cotonnier a probablement été cultivé pour sa propre valeur textile d'où sa dispersion (Martin, 1970). Des morceaux de tissus découverts aux Indes, dans le Sind, aux environs de l'an 3 000 avant Jésus Christ (J.C.), représentent les plus vieux spécimens de tissus de coton connus (Martin, 1970). En outre, la région de l'Indus ayant été habitée à cette période, elle peut être considérée comme le centre d'origine des cotonniers cultivés (Martin, 1970). En effet, c'est en Inde, où il a été domestiqué très tôt, que les Arabes découvrent le coton et l'introduisent en Espagne méridionale et en Égypte (EU, 2019). De fait, découlant de l'anglais « cotton », le mot coton provient de l'arabe «al-kutun» ayant produit en espagnol «algodon» (EU, 2019). Ainsi, les cotonniers modernes proviennent d'un croisement entre les individus sauvages d'Amérique et ceux d'Asie (Martin, 1970).

En effet, 13 des 26 chromosomes des cotonniers d'Amérique, ont été signalés analogues à ceux des anciens cotonniers d'Asie par Skovsted (1934). Aussi, jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle, la culture du coton était-elle l'apanage de l'Asie, notamment de l'Inde, qui entretenait depuis longtemps un commerce de coton sous forme de files en couleur, particulièrement recherché en Europe (Bagayoko, 2014). L'Afrique quant à elle, a vu le coton se propager à la faveur des conquêtes Arabes successives (Bagayoko, 2014). Puis, très rapidement le coton s'est intégré dans les exploitations paysannes, avec pour objectif de satisfaire aux besoins domestiques (Bagayoko, 2014). Dès lors, Le coton est devenu progressivement une culture de rente. Ainsi, lors de la colonisation, les Anglais établissent la British Cotton Growers Association (BCGA) au Nigeria en 1903 (Bagayoko, 2014). Parallèlement, instaurée en 1910, l'Afrique Equatoriale Française (AEF), ne s'intéresse au coton qu'à partir de 1928 (Bagayoko, 2014). Dans ce contexte de l'AEF, naît un grand bassin cotonnier couvrant le Cameroun et le Tchad et qui est demeuré jusque dans les années 1970, le plus grand d'Afrique, représentant 42 % de la production africaine, juste avant le Nigeria avec 38 % (Bagayoko, 2014). De même, les années 1930 ont vu la naissance au Mali de l'Office du Niger, créé par l'administration coloniale française (Bagayoko, 2014). Plus tard, ayant acquis leur souveraineté, les pays de la défunte administration coloniale, vont poursuivre la production cotonnière. C'est le cas en Afrique de l'ouest où certains pays, tel le Burkina Faso (PR-PICA, 2012), vont adoptés de nouvelles variétés issues de la biotechnologie. Ainsi, Il y a environ 20 ans que sont apparu des cotonniers génétiquement modifiés (OGM) (CCIC, 2018). Ces plants qui peuvent résister aux agressions de différents insectes sont présents au Brésil (CCIC, 2018). De même on les retrouve aux Etats Unis d'Amérique (USA), en Chine, en Inde (CCIC, 2018) et au Burkina Faso en Afrique subsaharienne (PR-PICA, 2012). En définitive, pour l'Afrique de l'ouest, le coton également qualifié d'or blanc, est devenu à partir de 1959 le moteur du développement socio-économique de la zone des savanes de Côte d'Ivoire (CNRA, 2006). En général, le cycle de développement, du semis à la récolte, varie de 150 à 175 jours selon les variétés de cotonnier, les zones agro-écologiques et les dates de semis (CNRA, 2006).

1-1-2-Technique de production

Il existe près de 50 espèces de cotonnier, mais seulement 2 d'entre elles participent principalement à la production mondiale (EU, 2019). En effet, *Gossypium hirsutum* L., contribue à hauteur de 90% quand *Gossypium barbadense* L., n'apporte que 5 % de la production mondiale (EU, 2019). Par contre, particulièrement cultivée en Égypte, *Gossypium barbadense*, fournit de longues et fines fibres de qualité très recherchées (EU, 2019).

Parallèlement aux espèces, les OGM représentent plus de 50 % des parcelles emblavées sur la planète, depuis 2012 (EU, 2019). En effet, présent au Brésil à hauteur de 95 % de la production de coton (CCIC, 2018), le coton transgénique représente respectivement au moins 90 % et 80 % des cultures de coton en Inde et en Chine (EU, 2019). Au total, la production mondiale de fibres est passée de 17,418 millions de tonnes en 1986 à 26 millions en 2012, matérialisant ainsi la forte demande mondiale (EU, 2019). Aussi, afin de satisfaire cette demande, diverses pratiques culturales sont-elles adoptées, selon les pays et les zones climatiques. Toutefois deux grandes tendances se distinguent suivant le mode de gestion de l'eau, à savoir la culture pluviale et la culture irriguée. Étroitement liée à la saison pluvieuse, la production non irriguée se rencontre dans de nombreux pays subsahariens. Parallèlement, l'Afrique abrite le coton irrigué, notamment en Égypte, au Soudan et en Afrique du Sud. En Australie, la gestion de l'eau fait partie des pratiques adoptées (Patoin, 2012). Ainsi, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, la satisfaction des besoins en éléments fertilisants et l'introduction des variétés transgéniques ont permis de passer d'un rendement moyen de 2 100 kg/ha en 1976 à 6 800 kg/ha actuellement. (Patoin, 2012).

Il apparaît que les rendements en culture irriguée sont en général plus élevés qu'en culture pluviale. A travers le monde, le rendement moyen de coton fibre est d'environ 800 kg/ha et croît au taux de 10 à 20 Kg/ha et par an, spécialement là où l'irrigation est utilisée (Constable et Bange, 2015). Désormais, sous irrigation, le rendement en coton fibre de 3500 kg/ha est atteignable (Constable et Bange, 2015). Poursuivant, Djimasra (2012), a indiqué que d'environ 450 kg de fibre/ha en 1982-1983, le rendement moyen mondial est passé à une prévision de 756 kg en 2007-2008. L'Afrique est en net retard (Djimasra, 2012). En effet, alors qu'à l'échelle planétaire on enregistre un accroissement du rendement moyen de 13 kg/ha de coton fibre par an, sur la période 1980-1981 à 2005-2006, celui du continent africain n'a augmenté que de 1 kg/ha par an (Djimasra, 2012). De fait, en Inde et en Chine, à partir de 2012, les cotonniers transgéniques ont contribué à réduire de 50 %, les applications d'insecticides et augmenter les rendements de 25 % (EU, 2019). Ainsi, l'Afrique de l'ouest, loin des rendements en coton graine en Australie, Chine, Brésil et USA qui étaient respectivement de 5 500, 4 500, 3 800 and 2 700 kg/ha, en 2015, stagne, depuis les années 2000, à un rendement de 1 000 kg/ha (FAO, 2018). En effet, en Chine, bien que la culture soit encore essentiellement manuelle, les rendements de plus 4 tonnes par hectare sont atteints à grâce à l'irrigation et une plus importante utilisation d'intrants (EU, 2019).

De fait, en Afrique subsaharienne, la production cotonnière est principalement manuelle, avec des moyens techniques limités (EU, 2019). Le tableau 3 montre que le rendement moyen pour l'Afrique est compris entre 955 et 960 kg/ha, de 2015 à 2017.

Tableau 3 : Superficie, production et rendement Superficie, production et rendement en Coton graine en Afrique et dans le monde

Zone	Élément	Année	Unité	Valeur (A)	Rendement t/ha*
Afrique	Superficie récoltée	2015	ha	4 418 120	0,95
	Production	2015	tonnes	4 211 120	
Monde	Superficie récoltée	2015	ha	31 744 784	2,09
	Production	2015	tonnes	66 379 652	
Afrique	Superficie récoltée	2016	ha	4 365 041	0,95
	Production	2016	tonnes	4 144 252	
Monde	Superficie récoltée	2016	ha	30 254 899	2,24
	Production	2016	tonnes	67 880 733	
Afrique	Superficie récoltée	2017	ha	4 325 752	0,96
	Production	2017	tonnes	4 155 346	
Monde	Superficie récoltée	2017	ha	32 979 140	2,25
	Production	2017	tonnes	74 352 809	

A : Agrégat, peut inclure des données officielles, semi-officielles, estimées ou calculées

* : Obtenu à partir de A, non compris dans le tableau source

Source : FAO (2019)

1-1-2-1- Le coton en Afrique de l'ouest

L'utilisation de variétés améliorées et un suivi rigoureux des itinéraires techniques permettent d'améliorer les rendements, la qualité du coton graine et la rentabilité de la spéculation (CNRA, 2006). En général, les pratiques culturales sont similaires en Afrique de l'ouest. En effet, les rendements moyens en coton graine respectivement de 877, 999 et 1054 kg/ha pour le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire, qui ont été enregistrés en 2017, étaient similaires (tableau 4).

De même, les rendements moyens en coton graine respectivement de 940, 955 kg/ha pour le Ghana la Guinée, qui ont été enregistrés en 2017, étaient quasi identique (tableau 5). La Gambie a obtenu pour la même période, un résultat d'environ 37 % (351 kg/ha) de ceux des pays précités. Ensuite, les rendements moyens en coton graine respectivement de 1108, 9368 et 986 kg/ha pour la Guinée Bissau, le Mali et le Niger, qui ont été obtenus en 2017, étaient proches de 1000 kg/ha (tableau 6).

Tableau 4 : Superficie cultivées et production cotonnière au Bénin, Burkina Faso et Côte d'Ivoire de 2015 à 2017

Zone	Élément	Année	Unité	Valeur	¹ Rdmt t/ha	Symbole
Bénin	Superficie récoltée	2015	ha	306 810		D
	Superficie récoltée	2016	ha	418 943		D
	Superficie récoltée	2017	ha	387 384		Im
	Production	2015	tonnes	269 212	0,877	D
	Production	2016	tonnes	346 935	0,828	D
	Production	2017	tonnes	339 811	0,877	Im
Burkina Faso	Superficie récoltée	2015	ha	557 840		D
	Superficie récoltée	2016	ha	654 955		D
	Superficie récoltée	2017	ha	844 895		D
	Production	2015	tonnes	768 930	1,378	D
	Production	2016	tonnes	784 784	1,198	D
	Production	2017	tonnes	844 337	0,999	D
Côte d'Ivoire	Superficie récoltée	2015	ha	402 000		*
	Superficie récoltée	2016	ha	285 712		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	311 074		Im
	Production	2015	tonnes	450 000	1,119	D
	Production	2016	tonnes	310 000	1,085	D
	Production	2017	tonnes	328 000	1,054	D

D: Donnée officielle; Im: Données de la FAO basées sur une méthodologie d'imputation: Chiffre non officiel;
F: Estimation FAO; Rendement en tonne par ha

Source: FAO (2019)

Enfin, les rendements moyens en coton graine respectivement de 906, 1158 pour le Nigéria et le Sénégal, qui ont été obtenus en 2017, étaient également proches de 1000 kg/ha, en dehors de celui du Togo (751 kg/ha) (Tableau 7). En somme, c'est autour de cette valeur de 1000 kg/ha que situe la moyenne de rendement en coton graine en Afrique de l'ouest de 2015 à 2017. Dans cette région, à culture quasi-manuelle, en dépit de la fertilisation minérale et des applications d'insecticides, le rendement moyen peine à dépasser 1 tonne par hectare de coton graine (EU, 2019).

Tableau 5 : Superficie cultivées et production cotonnière en Gambie, au Ghana et en Guinée de 2015 à 2017

Zone	Élément	Année	Unité	Valeur	¹ Rdmt t/ha	Symbole
Gambie	Superficie récoltée	2015	ha	1 437		Im
	Superficie récoltée	2016	ha	1 280		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	1 315		Im
	Production	2015	tonnes	516	0,359	Im
	Production	2016	tonnes	454	0,355	Im
	Production	2017	tonnes	461	0,351	Im
Ghana	Superficie récoltée	2015	ha	16 000		*
	Superficie récoltée	2016	ha	15 581		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	14 145		Im
	Production	2015	tonnes	14 758	0,922	Im
	Production	2016	tonnes	14 510	0,931	Im
	Production	2017	tonnes	13 300	0,940	Im
Guinée	Superficie récoltée	2015	ha	43 104		Im
	Superficie récoltée	2016	ha	45 279		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	45 453		Im
	Production	2015	tonnes	42 196	0,979	Im
	Production	2016	tonnes	43 888	0,969	Im
	Production	2017	tonnes	43 412	0,955	Im

D : Donnée officielle ; Im : Données de la FAO basées sur une méthodologie d'imputation ; * : Chiffre non officiel ; F : Estimation FAO ; ¹Rendement en tonne par ha. **Source** : FAO (2019)

Tableau 6 : Superficie cultivées et production cotonnière en Guinée-Bissau, au Mali et au Niger de 2015 à 2017

Zone	Élément	Année	Unité	Valeur	¹ Rdmt t/ha	Symbole
Guinée-Bissau	Superficie récoltée	2015	ha	4 939		Im
	Superficie récoltée	2016	ha	4 834		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	4 900		Im
	Production	2015	tonnes	5 308	1,075	Im
	Production	2016	tonnes	5 525	1,143	Im
	Production	2017	tonnes	5 428	1,108	Im
Mali	Superficie récoltée	2015	ha	545 317		D
	Superficie récoltée	2016	ha	655 000		*
	Superficie récoltée	2017	ha	630 811		Im
	Production	2015	tonnes	513 567	0,942	
	Production	2016	tonnes	605 084	0,924	Im
	Production	2017	tonnes	591 637	0,938	Im
Niger	Superficie récoltée	2015	ha	9 927		Im
	Superficie récoltée	2016	ha	10 486		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	10 540		Im
	Production	2015	tonnes	10 296	1,037	Im
	Production	2016	tonnes	10 589	1,010	Im
	Production	2017	tonnes	10 397	0,986	Im

D : Donnée officielle ; Im : Données de la FAO basées sur une méthodologie d'imputation ; * : Chiffre non officiel ; F : Estimation FAO ; ¹Rendement en tonne par ha.

Source: FAO (2019)

Tableau 7 : Superficie cultivées et production cotonnière au Nigéria, au Sénégal et au Togo de 2015 à 2017

Zone	Élément	Année	Unité	Valeur	¹ Rdmt t/ha	Symbole
Nigéria	Superficie récoltée	2015	ha	401 441		D
	Superficie récoltée	2016	ha	354 270		Im
	Superficie récoltée	2017	ha	321 315		Im
	Production	2015	tonnes	277 523	0,691	D
	Production	2016	tonnes	278 821	0,787	D
	Production	2017	tonnes	291 207	0,906	Im
Sénégal	Superficie récoltée	2015	ha	30 593		D
	Superficie récoltée	2016	ha	20 000		*
	Superficie récoltée	2017	ha	19 000		*
	Production	2015	tonnes	31 000	1,013	D
	Production	2016	tonnes	24 000	1,200	F
	Production	2017	tonnes	22 000	1,158	F
Togo	Superficie récoltée	2015	ha	112 422		D
	Superficie récoltée	2016	ha	129 929		D
	Superficie récoltée	2017	ha	160 152		Im
	Production	2015	tonnes	81 112	0,721	D
	Production	2016	tonnes	113 000	0,870	D
	Production	2017	tonnes	125 000	0,781	D

D : Donnée officielle ; Im : Données de la FAO basées sur une méthodologie d'imputation ; * : Chiffre non officiel ; F : Estimation FAO ; ¹Rendement en tonne par ha

Source : FAO (2019)

1-1-2-2- Variétés de coton cultivées

En Côte d'Ivoire, les services de recherche cotonnière ont créé des variétés actuellement vulgarisées (CNRA, 2006). Il s'agit de plants classiques, qui produisent des fibres de longueur moyenne et de couleur blanche (CNRA, 2006). Le tableau 8 rappelle leurs caractéristiques agro-technologiques. Ainsi du fait de la recherche, les conditions de climat et de sol de Côte d'Ivoire conviennent parfaitement à ces variétés (CNRA, 2006). En outre, elles satisfont aux normes de qualité des fibres et graines de coton du marché international (CNRA, 2006). Enfin, les paysans semenciers multiplient les semences de base fournies par le CNRA aux sociétés cotonnières (CNRA, 2006). Parallèlement, le CNRA a produit deux nouvelles variétés de semences de coton, Sicama V1 et Gouassou F1 résistant respectivement à la virescence florale et à la fusariose, deux maladies du cotonnier (Intercoton, 2018). Ces deux nouvelles variétés ont des potentiels de productivité au champ respectifs de 3 t et 2,5 t par hectare (Intercoton, 2018).

Tableau 8 : Caractéristiques de quelques variétés de coton

Nom de la variété	Cycle(1) (jours)	Morphologie (Taille)	Autres caractères	Rendement (kg/ha)	Égrenage	Technologie fibre (2)	Maturité HVI
W 471-A	115	élevée Végétation aérée	Pilosité foliaire moyenne	1847	fibre : 46,7% Seed index : 8,4 g	Longueur : 29,5 mm Ténacité : 31,3 g/tex (4)	87%
W 448-A	120	élevée Végétation aérée	Pilosité foliaire bonne	1928	fibre : 47% Seed index : 8,7 g	Longueur : 28,5 mm Ténacité : 29,8 g/tex (4)	90%
W 460-A	120	élevée Végétation aérée	Pilosité foliaire moyenne	1836	fibre : 46% Seed index : 8,1 g	Longueur : 28,8 mm Ténacité : 29,0 g/tex (4)	89%
W 766-A	120	élevée Végétation aérée	Pilosité foliaire moyenne	1930	fibre : 45,8% Seed index : 7,9 g	Longueur : 29,7 mm Ténacité : 30,5 g/tex (4)	89%
X 442-A	122	moyenne Végétation dense	Pilosité foliaire forte Résistance moyenne à la fusariose	1984	fibre : 46% Seed index : 8,1 g	Longueur : 30,4 mm Ténacité : 30,7 g/tex (4)	90%
R 405-98	152	moyenne Végétation aérée	Pilosité foliaire moyenne Résistance moyenne à la fusariose	1826	fibre : 44,6% Seed index : 8,1 g	Longueur : 29,2 mm Ténacité : 23 g/tex (3)	

(1) Durée levée, 1^{ère} capsule ouverte; (2) Longueur fibre mesurée au fibrographe; ténacité mesurée (3) au stélomètre ou (4) à la chaîne HVI.

Source : CNRA (2006)

1-1-2-3- Choix des semences

Selon le CNRA (2006), Il faut utiliser des semences de très bonne qualité germinative, de préférence issues des premières récoltes et des semis précoces. En effet, le taux de germination recherché est d'au moins 80 % pour les semences délintées et 75 % pour les semences vêtues (CNRA, 2006). En outre, les semences doivent être traitées, au stockage ou avant le semis, en utilisant soit un insecticide soit une association d'insecticide et de fongicide (CNRA, 2006). Cette disposition qui permet une levée sécurisée des plants après le semis qui utilise, 30 à 35 kg de semences vêtues ou 15 à 20 kg de semences délintées par hectare (CNRA, 2006).

1-1-2-4- Mise en place de la culture

La mise en place de la culture commence par le semis, puis vient l'entretien des parcelles, suivit de la lutte contre les ravageurs et enfin arrive la récolte. Suivant le protocole établi par le CNRA (2006), le semis est manuel avec des interlignes de 80 cm et 30 cm de distance entre poquets sur la ligne, conduisant à une densité d'au moins 83333 plants après démariage. Selon le CNRA (2006), le cotonnier se cultive principalement en zone de savane, sur des sols gravillonnaires profonds à bon drainage. Ainsi, les zones ombragées ou hydromorphes, les sols sableux et les terrains à forte pente sont à éviter, de même que les parcelles à fusariose et à mauvaises herbes difficiles à éliminer (CNRA, 2006). Le terrain doit être défriché en février-mars manuellement, par gyro-broyage ou par désherbage chimique (CNRA, 2006). De plus, en culture motorisée, le labour se fait à l'aide de charrue à socs ou à disques. Par contre, en culture attelée, il faut adapter une charrue à socs et prévoir le désherbage avec une herse. Enfin, en culture manuelle, il faut faire le binage (CNRA, 2006).

Le semis est réalisé à plat ou sur billons, sur sol humide, de préférence après une pluie (CNRA, 2006). En effet, les graines doivent être enfouies entre 3 et 5 cm de profondeur et recouvertes de terre. Puis, le jour du semis ou au plus tard le lendemain, traiter le champ avec un herbicide de pré-levée (CNRA, 2006). Ainsi, en semis manuel, l'interligne est de 80 cm avec une distance entre poquets de 20 à 30 cm (CNRA, 2006). Parallèlement, il faut mettre 4 à 6 graines par poquet (semences non délintées) ou 3 à 5 graines par poquet (semences délintées) et plus si le taux de germination est inférieur à 75 % (CNRA, 2006). En outre, un semoir permet, avec une Interligne de 80 cm de déposer, après réglage, 2 à 3 graines délintées tous les 10 cm (CNRA, 2006).

Les dates de semis recommandées en Côte d'Ivoire, sont pour la partie Nord de la zone cotonnière du 20 mai au 30 juin, et pour le Sud du 01 juin au 10 juillet de l'année (CNRA, 2006). En conséquence, il est recommandé de remplacer les graines qui n'ont pas levé 5 à 10 jours après la levée (CNRA, 2006). Cette opération est suivie de celle du démariage. Le démariage intervient 10 à 20 jours après la levée (CNRA, 2006). De façon pratique, il s'agit de conserver 2 plants tous les 20 ou 30 cm (semis manuel) ou 1 plant tous les 10 cm (semis au semoir) (CNRA, 2006). Cela permet d'avoir une densité variant de 83333 à 125000 plants par hectare, en fonction du mode de semis (CNRA, 2006). Toutes ces dispositions permettent également de faciliter l'entretien des parcelles, notamment le désherbage. Le désherbage doit se faire, si nécessaire (CNRA, 2006). D'abord, un premier désherbage est effectué 10 à 20 jours après la levée qui peut être manuel (sarclage) ou chimique par apport d'un herbicide sélectif du cotonnier (CNRA, 2006).

Parallèlement, le sarclage mécanique, à l'aide d'un outil tracté par un animal ou un engin motorisé peut intervenir 30 à 45 jours après la levée (CNRA, 2006). En outre, un éventuel sarclage complémentaire doit être envisagé vers le 60^{ème} jour après la levée (CNRA, 2006). Quant à la première Fertilisation, elle intervient après le labour et avant le pulvérisage par apporter de 200 kg d'engrais de fond (NPKSB 15 15 15 6 1) par hectare, ou juste après le démariage (CNRA, 2006). Elle consiste à épandre l'engrais le long de la ligne de semis à 5 cm des plants et le recouvrir. Ensuite, une deuxième opération d'épandage d'engrais, est effectuée avec 50 kg d'urée par hectare, 40 à 45 jours après la (CNRA, 2006). Cet apport de l'urée est immédiatement suivi d'un buttage ou un sarclo-buttage (CNRA, 2006). Cette fertilisation contribue à la croissance rapide des plants. En effet, sur des sols fertiles où les plants ont tendance à filer en hauteur (CNRA, 2006). En conséquence, il faut appliquer sur les cotonniers au moment de la floraison (environ 60 jours après levée), un régulateur de croissance pour réduire la taille des cotonniers et regrouper ainsi la floraison (CNRA, 2006). Ce regroupement de la floraison peut entraîner une plus grande efficacité des traitements antiparasitaires. La lutte contre les ennemis comprend le traitement de semences, la pulvérisation contre les ravageurs phyllophages, carpophages et piqueur suceurs. Pour les semences, un mélange fongicide et insecticide est conseillé, quant aux ravageurs, ils sont combattus avec des produits insecticides en général (CNRA, 2006). A ce niveau, il faut effectuer des semis groupés pour obtenir des champs homogènes et éviter le report des ravageurs d'un champ à l'autre (CNRA, 2006). En outre, il est conseillé de choisir des variétés à forte pilosité pour éviter les attaques de jassides (CNRA, 2006). Selon le PR-PICA (2017), il faut réaliser un programme calendaire de 6 à 8 traitements foliaires respectivement à 15 et 10 jours d'intervalle à partir du 31^{ème} jour jusqu'au 115^{ème} jour après la levée. De même, dans le programme fenêtre associé au programme calendaire, il faut proscrire l'utilisation de produits à base de pyréthrinoïdes avant le 10 août dans la zone cotonnière Nord et avant le 20 août dans la zone cotonnière Sud (PR-PICA, 2017). Ainsi, avant ces dates, il faut utiliser des alternatives aux pyréthrinoïdes, puis après, utiliser des associations à base de pyréthrinoïdes (PR-PICA, 2017). Parallèlement, dans les zones à acariose, l'association doit comporter un acaricide, pour les traitements végétatifs et les traitements fructifères (PR-PICA, 2017). En outre, dans les zones à risques de *Bemisia*, l'association doit comporter un produit aleurodicide pour les 2 derniers traitements (PR-PICA, 2017). Finalement, en fin de campagne, il est conseillé de détruire des pieds de cotonnier après la récolte pour réduire le développement de la première génération d'insectes du cotonnier (CNRA, 2006).

L'ensemble de ces activités d'entretien contribue à assurer une protection permettant d'espérer une production à récolter. Il est conseillé de faire une récolte manuelle échelonnée (au moins 2 passages) :

- La 1^{ère} récolte à 50 % d'ouverture des capsules;
- La 2^{ème} récolte à 50 % d'ouverture des capsules restantes;
- La 3^{ème} récolte à l'ouverture des capsules restantes (CNRA, 2006).

Puis, le coton graine séché doit être stocké à l'abri de l'humidité et de la poussière dans un magasin propre, sec et bien aéré (CNRA, 2006). Ensuite, le coton peut être livré à la société cotonnière, pour égrenage, après un contrôle de qualité. Une fois disponible la fibre est vendue aussi bien sur le marché interne qu'externe au pays.

1-2- Importance du coton

1-2-1- A l'échelle mondiale

Djimasra (2012), mentionne que la consommation mondiale de coton a atteint le niveau de 23,4 millions de tonnes en 2004/2005. C'est l'industrie textile asiatique qui tire principalement la demande, avec au premier rang la Chine, avec plus de 30 % de la consommation mondiale absorbée, contre seulement 10 % dans les années 60 (Djimasra, 2012). A ce niveau, Berti et *al.* (2006), ont fourni un classement des principaux pays producteurs. Il s'agissait de la Chine (s'améliorant de 550 kg/ha en 1980-1981 à 1 111 kg/ha de fibre en 2004-2005), des USA (de 453 à 958 kg/ha), de l'Inde (de 169 à 463 kg/ha) et du Pakistan (de 339 à 769 kg/ha) (Berti et *al.*, 2006). De fait, aucun pays de l'Afrique subsaharienne ne figure dans cette liste.

En effet, leur handicap vient de petite taille de leur production, car en 2015 et 2017, le Bénin, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire ne représentent respectivement que 0,4 %, 1,1 %, 0,6 % et 0,5 %, 1,1 %, 0,4 % de la production mondiale (FAO, 2019). Toutefois, une addition de leurs productions, permet de montrer que les pays de la zone Franc CFA (FCFA), avec respectivement 12,8 % et 11,8 % des exportations globales, respectivement en 2016 et 2017 ont fourni plus que le Brésil et environ deux fois plus que l'Ouzbékistan (CCIC, 2018). En effet, au niveau mondial en 2012, 17,3 millions de producteurs ont utilisé des plants transgéniques, dont 83% repartis à part égale entre Chinois et indiens (EU, 2019). L'Australie, comme le Brésil, où les rendements ont augmenté plus que 5 fois (208 à 1 101 kg/ha), connaissent une évolution fulgurante de leur production de coton fibre (Berti et *al.*, 2006). En revanche, la zone FCFA présente une tendance plus faible (Berti et *al.*, 2006).

En effet, la progression des rendements n'y a été en moyenne que de 44 %, variant de 310 kg de fibre, en 1980-1981 à 445 kg/ha, 25 ans plus tard (Berti et *al.*, 2006). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation, en particulier les prix de vente du coton-graine.

Les cours internationaux de la fibre de coton sont parfois sujets à des variations à la baisse (Djimasra, 2012). Ces dépréciations seraient liées, à 50 %, des progrès technologiques et à 25 %, de la concurrence des fibres synthétiques (Djimasra, 2012). En outre, la variation du prix au détail de l'habillement et les mesures prises par les pouvoirs publics, participent significativement à la faiblesse des cours internationaux de la fibre (Djimasra, 2012). Cela a un impact sur les producteurs d'Afrique subsaharienne, dont la production est essentiellement destinée à l'exportation.

1-2-2- Place du coton en Afrique

Le continent Africain compte 53 pays dont 37 sont producteurs de coton (Djimasra, 2012). Ainsi, ce sont 4,32 millions d'ha (13.1 % de la superficie mondiale de coton) cultivés par ce groupe en 2017, conduisant à une production de 4,15 millions de tonnes de fibres, soit 5,6 % du total mondiale (FAO, 2019). Parallèlement, en 2018, la part de la zone CFA dans les exportations mondiales a été estimée à 11,7 %, correspondant à 1,05 millions de tonnes (CCIC, 2018). Ce cumul permet à ce groupe de pays africains d'occuper la 3^{ème} place après les USA et l'Inde (CCIC, 2018). A ce niveau, en 2006-2007, les quatre premiers pays exportateurs africains sont dans l'ordre, le Burkina Faso, le Mali, le Benin et le Zimbabwe (Djimasra, 2012). En 2017, en Afrique de l'ouest, les quatre 1^{er} pays producteurs sur 12 répertoriés sont dans l'ordre, le Burkina Faso, le Mali, le Benin et la Côte d'Ivoire avec respectivement 0,84 ; 0,59 ; 0,34 et 0,33 million de tonnes (FAO, 2019). En outre, tous ces pays disposent d'une industrie d'égrenage, permettant d'exporter la fibre une fois séparée de la graine de coton. De fait, en Afrique, il y a 250 usines d'égrenage, implantées en zones rurales, de même que quelques dizaines d'usines de transformation secondaire (trituration, huileries et filatures) (Djimasra, 2012). Cette industrie de 1^{ère} transformation est approvisionnée par de petites exploitations, le plus souvent en culture pluviale, pour plus de 90 % des parcelles (Djimasra, 2012). Parallèlement, sur ces champs de coton, la récolte est principalement faite à la main (Berti et *al.*, 2006). Ainsi, en Afrique, le coton se présente comme une culture génératrice de revenus pour des millions de personnes et une importante source de revenus d'exportation, pour de nombreux pays (Djimasra, 2012). A ce niveau, le coton occupe la 3^{ème} place sur le continent africain, après le cacao et le café (Djimasra, 2012), d'où la nécessité d'amélioration de sa productivité.

En effet, la zone FCFA d'Afrique a vu s'accroître l'écart de rendement qui la sépare du reste du monde. Ainsi, de -25 % en 1980-1981 (411 kg/ha de coton fibre de moyenne mondiale) cette différence est passée à -40 % en 2004-2005 (744 kg/ha de moyenne mondiale) (Berti et *al.*, 2006). Aussi, contrairement à la tendance observée dans les principaux pays producteurs, la multiplication par cinq de la production de coton fibre constaté au cours des 25 dernières années pour l'Afrique de la zone FCFA, est-elle davantage à lier à l'augmentation des superficies récoltées qu'à l'amélioration des rendements. De fait, les superficies cultivées y sont passées de 706 000 hectares en 1980-1981 à environ 2,5 millions d'hectares en 2004-2005 (Berti et *al.*, 2006). Les superficies cultivées ont été multipliées plus de 3,5 fois contre seulement 1,4 pour les rendements (Berti et *al.*, 2006). Cette zone FCFA dans laquelle se trouve la Côte d'Ivoire, a vu les rendements de coton fibre, faiblement varié, passant de 310 kg/ha (1980-1981) à 445 kg/ha (2004-2005) (Berti et *al.*, 2006). Ainsi, en 2016 et 2017, les rendements en fibre sont respectivement de 407 et 536 kg/ha pour la Côte d'Ivoire (Ducroquet et *al.*, 2017 ; Intercoton, 2018 et 2019)

Chapitre 2: Coton en Côte d'Ivoire

2-1- Généralités sur la filière coton ivoirienne

La Côte d'Ivoire, présentée par Koffi (2013) est un pays situé en Afrique de l'Ouest, comprenant deux zones écologiques du point de vue de la végétation. Forestière, la partie sud se distingue du nord du pays couverte de savane (Koffi, 2013). Aussi, l'économie, qui repose principalement sur l'agriculture s'est-elle organisée sur ces deux grandes zones agro écologiques, pour développer des spéculations agricoles (Koffi, 2013). Ainsi, la culture du coton s'est implantée sur la portion allant du Centre-Nord au nord de la Côte d'Ivoire, elle-même repartie en trois subdivisions Sud, médiane et Nord (Figure 1). Au départ, la Côte d'Ivoire indépendante confie, à partir de 1963, la production cotonnière à la Compagnie Française pour le Développement des Fibres Textiles (CFDT), présente dans le pays depuis 1945 (Ducroquet et *al.*, 2017).

Ensuite, dix ans après, afin de poursuivre le développement de la filière, est créé la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT), le 1er octobre 1973 (Ducroquet et *al.*, 2017). Cette décision gouvernementale a ainsi permis d'augmenter l'impact de la filière coton sur l'économie du pays. Ainsi, au début des années 2000, le coton contribuait à 1,7 % au PIB de la Côte d'Ivoire avec une participation aux exportations de 7 % (Chambre de commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire (CI-CI), 2013). De plus, en 2014, la production Ivoirienne de coton a représenté 0,5 % du marché mondial (Organisation mondiale du commerce (OMC), 2019). En effet, la part des exportations pour la campagne 2016-2017 est élevée à 99,9 % sur 328 000 tonnes produites (Ducroquet et *al.*, 2017). Se faisant, la Côte d'Ivoire se retrouva 4^{ème} productrice en Afrique de coton et 16^{ème} exportatrice mondiale (Ducroquet et *al.*, 2017).

Cette production est essentiellement dédiée à l'export. En effet, en 2013-2014 elle a été livrée à une vingtaine de négociants internationaux (Ducroquet et *al.*, 2017). Ensuite, elle a été expédiée dans plusieurs pays, notamment à plus de 80 % en Asie (Commodafrica, 2018 et 2019). Il s'agit pour les campagnes 2016-2017, du Pakistan (21 %), du Bangladesh (21 %), du Vietnam (13 %), de la Malaisie (12 %), de l'Inde (9 %), de l'Indonésie (8 %), et 2017-2018 de l'Indonésie (24 %), du Bangladesh (18 %), de la Malaisie (12 %), du Vietnam (9 %), de l'Inde (9 %), de la Turquie (7 %), du Pakistan (5 %) (Commodafrica, 2019). Toutefois, avant l'atteindre des résultats de 2014, la filière cotonnière ivoirienne a subi de profondes mutations à la fin des années 1990. Celles-ci se sont matérialisées par la privatisation des unités d'égrenage et la réorganisation des acteurs.

2-2- Libéralisation de la filière coton en Côte d'Ivoire

En septembre 1998, survenait la libéralisation par le biais d'une privatisation partielle de la CIDT, matérialisée par la cession de deux lots du bassin cotonnier (Koffi, 2013). En effet, suite à un appel d'offre international, deux structures privées se sont implantées, à savoir, Ivoire Coton (IC) et la Compagnie Cotonnière Ivoirienne (LCCI) (Koffi, 2013).

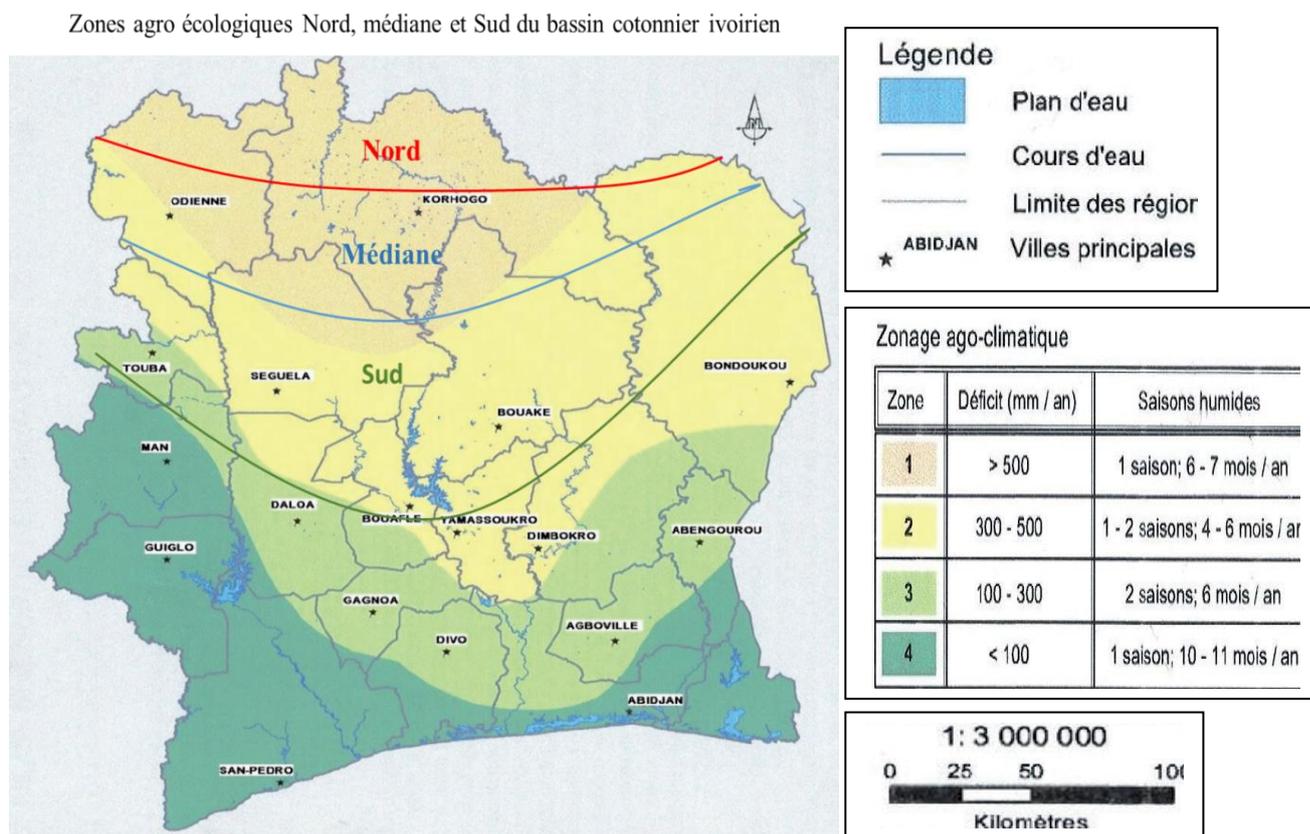


Figure 1 : Zones de production cotonnière (Nord, Médiane et Sud)

Source: Konan (2019) ; Ducroquet et *al.* (2017)

En outre, la libéralisation a occasionné l'avènement de multiples organisations fédératives à savoir:

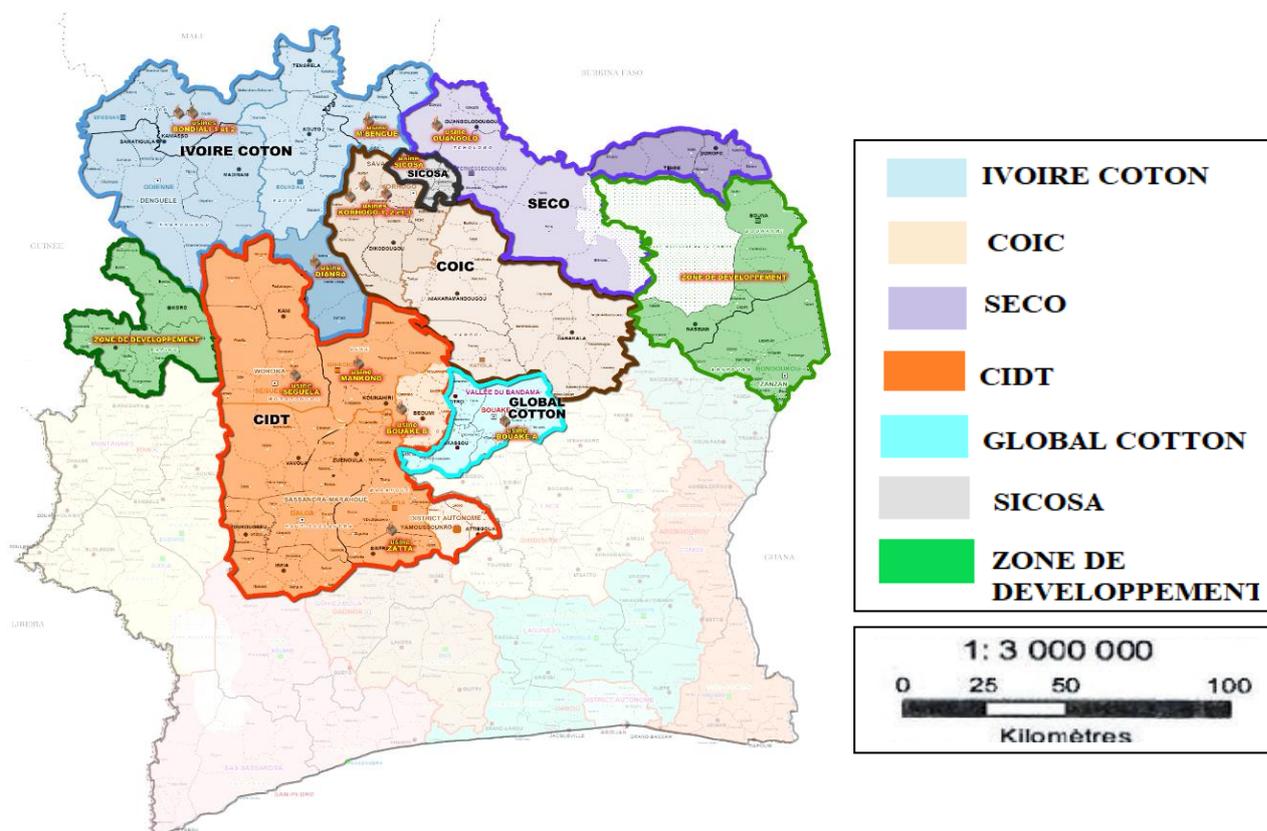
- l'Autorité de Régulation du Coton et de l'Anacarde (ARECA), créée en 2003 puis remplacée en 2014 par le Conseil Coton-Anacarde (CCA) qui assure une mission de régulation des activités cotonnières et veille au respect des objectifs de la filière ;
- l'Association Interprofessionnelle de la Filière Coton (Intercoton), créée en 2000 et qui regroupe les organisations professionnelles de la production, de la transformation et de la commercialisation, et constitue une entité consultative pour l'Etat ;

- l'Association des groupements de producteurs de coton de la Filière de Côte d'Ivoire (AFFICOT-CI) créée en 2002, suivi en 2013 de Fédération des Unions de Sociétés Coopératives des producteurs de la Filière Coton de Côte d'Ivoire (FPC-CI), puis du Syndicat des producteurs et organisations de coton et anacarde (SYPROCACI) en 2017 ;
- l'Association Professionnelle des sociétés Cotonnières de Côte d'Ivoire (APROCOT-CI), mise en place en 2000 (Ducroquet et *al.*, 2017).

APROT-CI ne compte plus au nombre de ses membre la LCCI qui a déclaré faillite au cours de la campagne cotonnière 2005-2006 (Koffi, 2013). Dès lors, ses activités à l'usine de M'Bengué ont été reprises par Ivoire Coton (Ducroquet et *al.*, 2017). Le reste a été réparti entre la Société d'Exploitation Cotonnière de Ouangolodougou (SECO) du groupe OLAM (site de Ouangolodougou) et la Compagnie Ivoirienne Cotonnière (COIC) (sites de Korhogo 1 et 2) (Ducroquet et *al.*, 2017).

Ainsi, anciennement détenue par LCCI, le bloc Nord-Est est à partir de 2008, géré par un collège d'entreprises (Ducroquet et *al.*, 2017). En conséquence, dès 2012, les incursions réciproques dans les zones des sociétés cotonnières se font jour, suite à l'éclatement des blocs définis au début de la libéralisation (Koffi, 2013). En outre, de la campagne 2002-2003 à la campagne 2016-2017, les sociétés cotonnières de la Côte d'Ivoire étaient autorisées chacune à assurer le Conseil Agricole sur toute l'étendue du bassin cotonnier, dans le cadre de la libéralisation de la filière (Intercoton, 2018).

Toutefois, la campagne 2017-2018 a connu d'importantes décisions. Il s'agit notamment de la privatisation de la CIDT résiduelle, société d'État, en décembre 2017; de la restauration des zones d'exclusivité pour chaque société cotonnière (c'est le zonage Agro-industriel du bassin cotonnier) ; de l'autorisation d'activité de Conseil agricole pour 6 sociétés cotonnières (CIDT, COIC, GLOBAL COTON, IVOIRE COTON, SECO, SICOSA) (figure 2) (Intercoton, 2018). En somme, l'investissement de capitaux privés et la conduite d'une politique d'Etat plus interventionniste dans la filière coton (Ducroquet et *al.*, 2017), montre que le coton occupe une place importante dans les zones rurales du nord de la Côte d'Ivoire.



COIC : Compagnie Ivoirienne Cotonnière ; SECO : Société d'Exploitation Cotonnière de Ouangolodougou
 CIDT: Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles ; SICOSA : Société Industrielle Cotonnière des Savanes

Figure 2 : Carte du zonage Agro-industriel du bassin cotonnier

Source : Intercoton (2018)

2-3- Place du coton en Côte d'Ivoire

Selon Koffi (2013), plus de 100 000 agriculteurs par an ont été concernés par la production cotonnière ivoirienne, nourrissant ainsi plus de 3 millions de personnes. En outre, plusieurs activités industrielles se sont développées à côté des usines d'égrenage du telles que la filature et l'huilerie (Koffi, 2013). De plus, la capacité totale d'égrenage de la Côte d'Ivoire répartie sur 15 sites est estimée à 530 000 T (Ducroquet et *al.*, 2017). Aussi, la culture du coton se présente-t-elle comme un support de développement et de réduction de la pauvreté en milieu rural (Koffi, 2013). En effet, cultivé sur une superficie d'environ 300 000 hectares par an, depuis 2012, le coton procure une part importante de ressources financières au milieu rural (Tableau 9). A ce niveau, une subvention sur les prix bord champs de 15, 5, 15, 23 et 15 francs CFA respectivement en 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005 et 2014-2015 a été accordé par l'Etat ivoirien à la filière (Ducroquet et *al.*, 2017).

De même, pour les campagnes 2008-2009 à 2013-2014, le coton a profité d'une subvention aux intrants de 7 Milliards de FCFA au plus par an, à laquelle une subvention au prix d'achat a ensuite été substituée (Ducroquet et *al.*, 2017).

Tableau 9 : Historique de la Production de coton en Côte d'Ivoire de 1997 à 2017

Campagne	Nombre de producteurs	Superficie (ha)	Production coton graine (t)	Rendement (kg/ha)	Rendement égrenage (%)	Production fibre (t)	Rendement. kg fibre/ha	Prix du coton-graine
1997/98	-	244 313	337 097	1 380	43,58	146 906	601	200 F/kg
1998/99	-	271 371	365 003	1 345	42,89	156 533	577	200 F/kg
1999/00	69 019	291 457	402 367	1 381	44,06	177 284	608	185 F/kg
2000/01	43 926	248 478	287 000	1 155	42,69	122 518	493	210 F/kg
2001/02	-	282 678	396 236	1 402	40,67	161 160	570	190 F/kg
2002/03	-	269 730	396 417	1 470	43,37	171 929	637	180 F/kg
2003/04	-	206 387	180 144	873	43,76	78 839	382	200 F/kg
2004/05	-	269 486	323 141	1 199	43,35	140 079	520	185 F/kg
2005/06	-	243 246	267 831	1 101	43,51	116 530	479	140 F/kg
2006/07	-	191 992	145 648	759	43,58	63 477	331	145 F/kg
2007/08	-	119 733	119 266	996	43,98	52451	438	150 F/kg
2008/09	41 000	141 234	123 856	877	42,91	53145	376	185 F/kg
2009/10	62 000	184 644	185 347	1 004	43,83	81 230	440	175 F/kg
2010/11	70 000	217 331	174 689	804	43,57	76 119	350	210 F/kg
2011/12	87 509	254 823	260 302	1 022	43,14	112 284	441	265 F/kg
2012/13	103 857	345 616	352 068	1 019	42,89	150 992	437	265 F/kg
2013/14	113 547	357 524	405 226	1 133	42,79	173 402	485	262,8F/kg
2014/15	121 270	414 446	450 146	1 086	43,58	196 173	473	225 F/kg
2015/16	113 532	402 014	310 177	772	43,14	133 795	333	250 F/kg
2016/17	95 927	344 629	328 149	952	42,72	140 185	407	265 F/kg
2017/18	88 407	327 201	413 205	1 263	42,48	175 529	536	265 F/kg

- : Donnée non publiée.

Source : Ducroquet et *al.* (2017) ; Intercoton (2018 ; 2019)

2-4- Caractéristique des exploitations

2-4-1- Au niveau national

A l'échelle nationale, la répartition pour la campagne 2018-2019 entre les structures cotonnières se présente comme suit respectivement pour les producteurs et les superficies cultivées, IVOIRE COTON (36,7 et 33 %), COIC (24 et 27 %), SECO-Olam (17 et 18,9 %), CIDT (16 et 15 %), SICOSA (5,5 et 5 %) et Global Cotton (0,8 et 0,1 %) (Intercoton, 2019). Cela montre que deux compagnies Ivoire coton et COIC ont couvert au moins 60 % de la zone de production, aussi bien superficie qu'en nombre de producteurs (Commodafrica, 2019). A ce niveau, la superficie moyenne a été de 3,8 ha par agriculteur (tableau 10). Cela représente une progression, dans la mesure où la taille moyenne des parcelles étaient de 3 ha en 2012 (CCI-CI, 2013). En effet de type familial, les exploitations de coton au nord de la Côte d'Ivoire sont très peu mécanisées.

2-4-2- Au niveau des producteurs

Stessens (2002), a rapporté que les agriculteurs du nord de la Côte d'Ivoire produisaient principalement en plus du coton, du maïs, du riz, de l'arachide et de l'igname. En outre, les parcelles étaient essentiellement détenues par les hommes, toutefois les femmes disposaient en général d'une portion de terre surtout pour la culture d'arachide (Stessens, 2002). A ce niveau, Diarrassouba et *al.* (2014), a indiqué que l'âge des chefs d'exploitation variait entre 18 et 49 ans avec une moyenne de 34,07 ans.

Tableau 10 : Nombre de producteurs et superficies réalisées en campagne 2018-2019

Paramètres	IVOIRE COTON	COIC	SECO	CIDT	SICOSA	GLOBAL COTON	TOTAL
Producteurs	37 925	24 695	17 901	16 278	5 697	819	103 315
Superficies (S ²) (ha)	131 151	107 060	73 852	59 613	20 251	460	392 387
*Production (T)	119 370	119 370	78 769	72 219	15 189	287	429 943
*S ² moyen/producteur	3,5	4,3	4,1	3,7	3,6	0,6	3,8

* : Données au 04 Avril 2019 / * : Valeurs calculées à partir des données du tableau

COIC : Compagnie Ivoirienne Cotonnière ; SECO : Société d'Exploitation Cotonnière de Ouangolodougou ;

CIDT: Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles ; SICOSA : Société Industrielle Cotonnière

Source : Intercoton (2019)

De plus, la main d'œuvre était en moyenne de 5 personnes par champs (Diarrassouba et *al.*, 2014). La moyenne des tailles d'exploitations a varié en fonction des sociétés cotonnières, pour la campagne 2018-2019 (Tableau 10). En exemple, Ivoire Coton, qui a disposé du plus grand nombre de producteurs, a eu une moyenne de 3,5 ha par producteur contre 4,3 ha pour COIC. De plus, la segmentation par tranche de superficie de 2016 à 2018 chez IVOIRE COTON (tableau 11) a montré que la majorité des producteurs ont une exploitation de taille supérieure à 3 ha, lorsque moins de 30 % d'entre eux ont travaillé sur au plus 2 ha.

Cela marque une évolution, car, en effet Stessens (2002) a rapporté en 2002 une moyenne de 2.6 ha par producteur, suivi de Diarrassouba et *al.* (2014) en 2014 avec la moyenne de 3,14 ha. Toutefois, le coton qui a pendant longtemps été la culture de rente de la zone ne vient pas en 1^{ère} position en matière de surface emblavée par agriculteur. A ce sujet, le maïs (3,675 ha) a dominé le coton (3,14 ha) suivi par l'arachide (1,125 ha), le riz (0,906 ha), le haricot (0,306 ha), le mil (0,297 ha) et enfin l'igname (0,194 ha) (Diarrassouba et *al.*, 2014). En somme, avec 67,34 %, les vivriers ont largement surclassé le coton (32,66 %) en matière de surfaces emblavées (Diarrassouba et *al.*, 2014).

Tableau 11 : Répartition des producteurs par tranche de superficie moyenne des exploitations et par Campagne (IVOIRE COTON)

Campagnes	Paramètres	$S^2 \leq 1$ ha	$1 \text{ ha} < S^2 \leq 2$ ha	$2 \text{ ha} < S^2 \leq 3$ ha	$S^2 > 3$ ha	TOTAL
2016-2017	Nbre Producteurs	2 106	6 882	6 883	18 749	34 620
	%	6	20	20	54	100
2017-2018	Nbre Producteurs	1 571	6 261	6 552	15 656	30 040
	%	5	21	22	52	100
2018-2019	Nbre Producteurs	2 914	7 800	7 226	19 985	37 925
	%	8	21	19	53	100

S^2 : Superficie moyenne par producteur ; ha : hectare ; Nbre : Nombre de

Source: Coulibaly (2019)

En définitives, zonage agricole, faible niveau de mécanisations, taille variable et caractère familiale des exploitations, sont autant de paramètres que les égreneurs doivent intégrer à l'ensemble des contraintes à surmonter pour réaliser une bonne campagne cotonnière.

Chapitre 3: Contraintes liées à la production du coton

Les contraintes sont aussi bien liées à la technicité humaine qu'aux conditions environnementales. Elles partent de la maîtrise des itinéraires techniques à l'accès au marché en passant par la gestion des ressources en eau pour la culture.

3-1- Variabilités climatiques et pluviosité

3-1-1- Aspects environnementaux

La pression démographique et le dérèglement climatiques sont deux facteurs qui vont influencer fortement l'inadéquation entre l'offre et la demande en eau (Montginoul, 2011). Ainsi, les cinquante années avenir vont voir s'accroître l'écart entre offre et demande, particulièrement dans la zone méditerranéenne (Montginoul, 2011). En effet, Khan (2018), a présenté l'augmentation du niveau des GES dans l'atmosphère avec comme corolaire la variabilité climatique, comme les premiers responsables des vagues de chaleur, inondations et stress hydriques.

Aussi, au nombre des conséquences du réchauffement du climat, la raréfaction de l'eau a-t-elle été identifiée comme étant le facteur limitant majeur pour la productivité des cultures (Khan, 2018). Le stress hydrique s'est déjà avéré comme facteur pouvant sévèrement affecté le rendement, aidé en cela de façon déterminante par son intensité et sa durée (Khan, 2018). Dans le même sens, Caballero et *al* (2011), a expliqué qu'à l'approche de 2030, le débit des eaux fluviales vont diminuer de 20 à 40 %, consécutivement à la baisse de la pluviosité et à l'augmentation des températures.

De fait, en été, les cours d'eau seront sensiblement affectés par une perte de 50 % des débits (Caballero et *al.*, 2011). Dans ce contexte, les nappes phréatiques superficielles seront moins rechargées (Caballero et *al.*, 2011). Parallèlement, l'élévation du niveau d'évapotranspiration des plantes, l'augmentation de la population et l'accentuation de l'irrigation accroîtront les besoins en eau (Montginoul, 2011). Dans ce contexte, deux stratégies ont été suggérées par Montginoul (2011) :

- choisir les cultures à irriguer ;
- améliorer l'offre en eau par une gestion optimale des retenues d'eau existantes, par calage par exemple des périodes de semis.

3-1-2– Culture du coton et irrigation

3-1-2-1- Généralité sur les méthodes d'irrigation

La mise en œuvre d'un dispositif d'irrigation est étroitement liée à la culture, la nature du sol qui la supporte, la qualité de l'eau utilisée et la méthode d'irrigation (Elharrar, 2016). Les prélèvements d'échantillons du sol et leur analyse permettent d'en déterminer le type à partir de diagramme (figure 3), et ses composantes minérales et organiques (Elharrar, 2016).

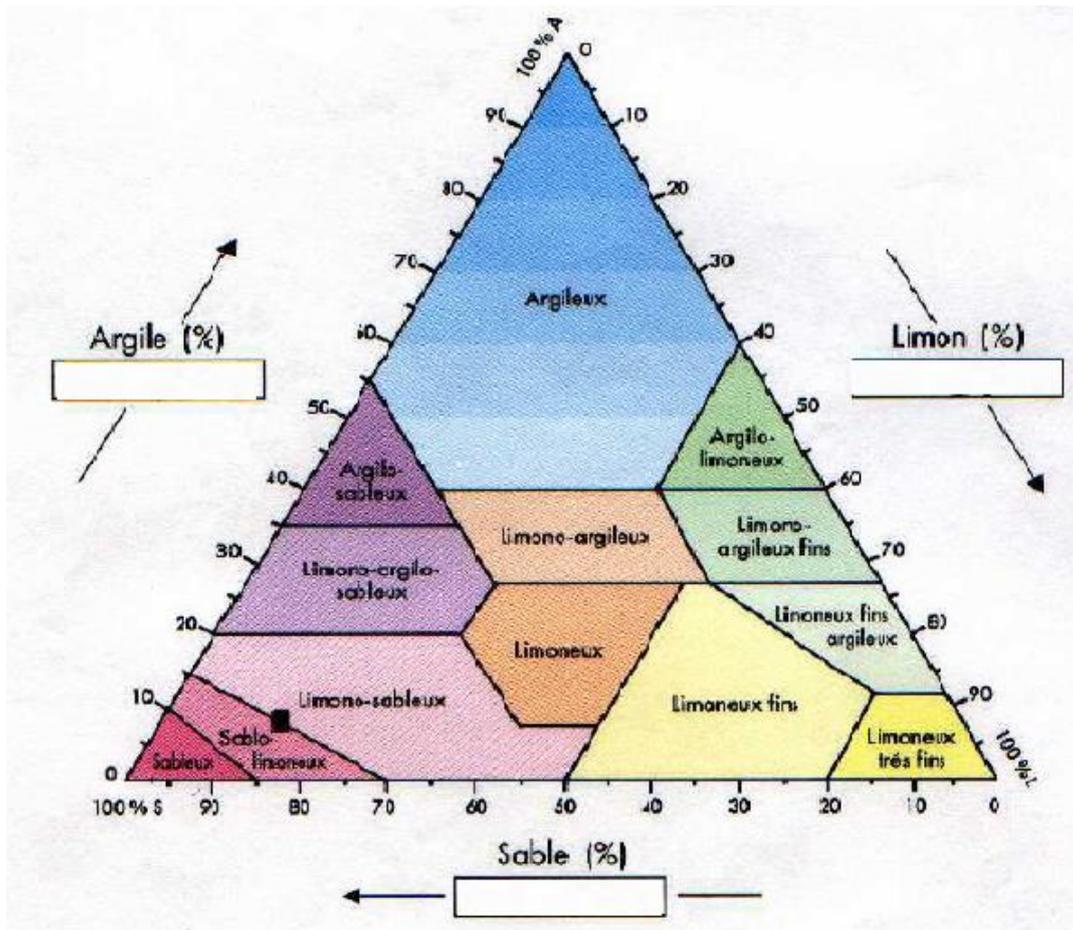


Figure 3 : Diagramme de détermination du type de sol à partir de la granulométrie

Source : Elharrar (2016)

Au niveau de l'eau, plusieurs sources permettent d'alimenter les cultures. En effet, selon Thivet et Blinda (2009) il y a l'eau de pluie (ou eau verte), l'eau de surface (eau grise) et l'eau des nappes phréatique (eau bleue), essentiellement utilisée pour les systèmes d'irrigation localisés ou par aspersion. L'eau d'irrigation provient d'une source, tels qu'un barrage ou un forage, puis est acheminée, à l'aide d'un réseau de canalisations jusqu'aux exploitations agricoles (Bhouri et *al.*, 2015). Ce circuit de distribution de l'eau agricole conduit à penser qu'entre la source d'eau et sa consommation, il y a des pertes d'eau.

En effet, afin d'évaluer ces déperditions, des paramètres d'efficacité ont été définis (Bhourri et *al.*, 2015). Ce sont entre autre, l'efficacité d'irrigation à la parcelle et l'efficacité d'utilisation de l'eau par la culture (Bhourri et *al.*, 2015).

Tableau 12 : Description des différentes méthodes d'irrigation

Méthode d'irrigation	Description
Localisée	L'eau est déposée par égoutement au pied des plants par des canalisations à déployées à leurs niveau (Goutte-à-goutte)
Aspersion	L'eau est distribuée depuis un point surplissant ou non la culture, sous forme de fine gouttelletes, sur une surface définie par la portée des asperseurs
Gravitaire	L'eau est acheminée par un écoulement canalisé suivant une pente descendante, par usage de la gravité
Traditionnelle	L'eau est transportée manuellement avec des arrosoirs conçus à d'être utilisé par une personne

Source : Elharrar (2016)

L'efficacité d'irrigation est évaluée au moyen de diverses mesures telles que l'efficacité d'application et le coefficient de conformité. La première consiste à évaluer la technique avec laquelle l'eau est mise à disposition de la culture dans le but de la stocker dans la zone racinaire permettant ainsi de satisfaire les besoins de la plante (Irmak et *al.*, 2011). Elle relie le stock d'eau dans la zone racinaire au volume d'eau distribué pendant l'arrosage et se définit selon la formule suivante (Irmak et *al.*, 2011) :

$$E_a = (V_s / V_a) \times 100 \quad (1)$$

Avec:

E_a : efficacité d'application (%)

V_s : volume d'eau stocké dans la zone racinaire (m^3)

V_a : volume d'eau appliqué lors de l'arrosage (m^3)

Le tableau 13 présente l'efficacité de l'irrigation en fonction de la méthode utilisée. L'irrigation localisée, encore appelée «Goutte à goutte» s'est montrée la plus efficace, suivie de la technique par aspersion (Irmak et *al.*, 2011). La 2^{ème} mesure, le coefficient d'uniformité (CU) définit, par rapport à la surface à irriguer, l'homogénéité dans l'espace de la dose d'irrigation. En effet, des facteurs tels que la méthode d'irrigation, la topographie, les paramètres de sol de même que la pression et le débit du système d'irrigation influencent l'homogénéité de l'irrigation (Howell et Migal, 2007).

De même, l'uniformité de distribution (UD) indique la qualité de la répartition de la hauteur d'eau infiltrée dans la parcelle (Kambou et *al.*, 2013). Le CU et l'UD sont des paramètres fournis par des logiciels de calcul produits à cet effet (Achilea et *al.*, 2005 ; JIC, 2016).

Tableau 13 : Efficience d'utilisation de l'eau selon différents systèmes d'irrigation

Système d'irrigation	Efficience "Potentielle" d'application (%)	Caractéristiques pour les cultures
Localisée (Goute à goutte)	85 à 95	Prévention du développement des mauvaises herbes et possibilité de fert-irrigation / Non adaptés si les cultures emblavées sont à enracinement profond, si les eaux sont trop chargées (sable, limon, matière organique)
Aspersion	66 à 90	Recommandée dans les cas de sols à faible profondeur, des sols légers et perméables, en cas de relief trop accidenté ainsi qu'en cas d'utilisation d'eau salée
Gravitaire	40 à 80	Recommandée en cas de disponibilité suffisante en eau

Source : Irmak et *al.* (2011) ; Leare (2003)

Parallèlement, sous régime d'irrigation, l'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) pour une plante peut être calculée par rapport l'apport total pendant le cycle cultural, en prenant en compte la pluviométrie (Pereira, 2005). La formule est la suivante :

$$EUE_p = Y_p / P \quad (2)$$

$$EUE_{ir} = Y_i / V_i \quad (3)$$

$$EUE_{ip} = Y_i / (P + V_i) \quad (4)$$

Avec:

Y : rendement de la culture (kg/ha)

P : volume cumulé d'eau tombée durant le cycle de culture (m³/ha)

Vi : le volume d'irrigation total appliqué pendant sur la saison de culture (m³/ha).

L'EUE permet d'évaluer l'efficacité du processus de consommation de l'eau par la plante pour la production de biomasse (Bhouri et *al.*, 2015). Ainsi, selon Karam et *al.* (2005) le maïs a présenté une efficience d'utilisation de l'eau de 1,88 kg/m³, alors que le coton, le soja et le tournesol étaient respectivement à 0,64, 0,54 et 0,86 kg/m³. Aussi, la plus importante information à ce niveau, est que l'efficience d'utilisation de l'eau peut être significativement élevée si l'apport en eau d'irrigation est réduit (Zwart et Bastiaanssen, 2004). De plus, EUE varie en fonction du type de biomasse choisie. Par exemple, pour le coton graine, Zwart et Bastiaanssen (2004) ont obtenu des valeurs allant de 0,4 à 0,95 kg/m³, quand celles de la fibre variaient de 0,14 à 0,33 kg/m³. L'efficacité de la pluie est également évaluée.

La pluie efficace, est la part des précipitations qui est effectivement utilisée par la plante après déduction des pertes que sont le ruissellement de surface et la percolation profonde (Laere, 2003 ; Carluer et *al.*, 2010). Les formules suivantes ont été mentionnées par Laere (2003) :

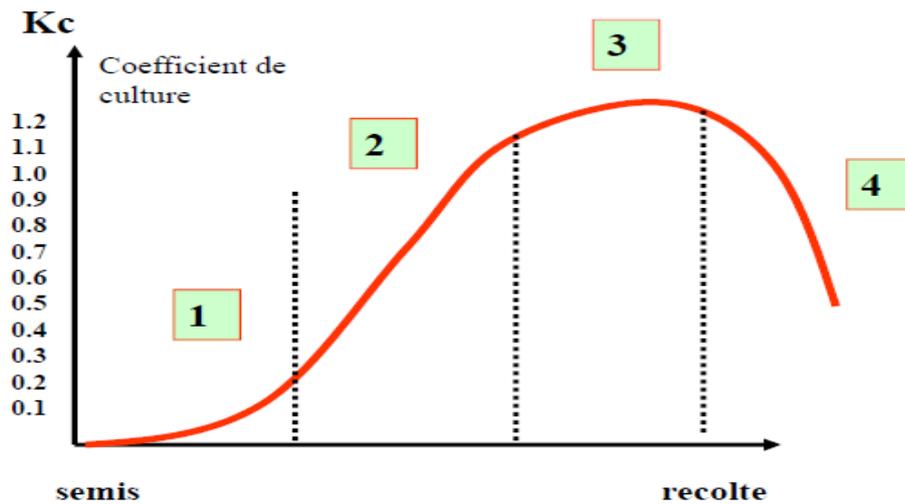
$$P_{eff} = 0,6 \times P_{moy} - 10 \quad (\text{pour } P_{moy} < 70 \text{ mm/mois}) \quad (5)$$

$$P_{eff} = 0,8 \times P_{moy} - 25 \quad (\text{pour } P_{moy} > 70 \text{ mm/moi}) \quad (6)$$

Avec : P_{eff} : pluie efficace (mm) et P_{moy} : pluviométrie moyenne (mm)

3-1-2-1- Besoins en eau du cotonnier

Le coton a des besoins en eau qui varient non seulement selon les régions, mais aussi suivant la durée de la campagne agricole, le mode d'irrigation, l'environnement climatique et la variété cultivée (CCIC, 2018). Ainsi, la part du coton dans la consommation mondiale d'eau agricole est de 3 % environ (CCIC, 2018). De fait, il faut entre 3000 et 7000 L d'eau pour l'obtention d'un kilogramme de fibre (CCIC, 2018). Cependant, rapporté à la production mondiale totale, ce volume revient à environ 1200 L d'eau par kilogramme de fibre (CCIC, 2018). Par comparaison, le coton utilise presque autant d'eau que la canne à sucre et moins d'eau que le riz (CCIC, 2018). En effet, l'utilisation de l'irrigation localisée (goute à goutte) a permis de sauver 26,9 % d'eau et d'obtenir une hausse de rendement en coton graine de 43,1 % par rapport à une irrigation standard par aspersion (Singh et *al.*, 2010). De fait, cette innovation conduit, en plus de la bonne gestion de l'irrigation, à une meilleure maîtrise des mauvaises herbes, de même que des ravageurs (Silvie et Fok, 2016). Elle contribue également à réduire l'exposition des agriculteurs aux pesticides (Silvie et Fok, 2016). Toutefois la mise en œuvre de l'irrigation nécessite un paramétrage préalable. La consommation d'eau par la culture est appelée évapotranspiration (ETP_c) (Elharrar, 2016). L'évaporation à la surface du sol est combinée à la transpiration de la plante par les stomates (Elharrar, 2016). L' ETP_c , produit l'évapotranspiration potentiel par le coefficient de culture (K_c) (voir chapitre 6) est calculée par phase du cycle de la culture (figure 4) (Elharrar, 2016). Aussi, l'usage de l'irrigation peut-elle contribuer à la gestion rationnelle des dates de semis.



1-Phase végétative, 2- phase Floraison et nouaison 3- phase de maturation, 4- Récolte

Figure 4 : Différentes phases du cycle de la culture

Source : Elharrar (2016)

3-2- Période des semis

Renou (2006), a mentionné que la production de coton graine était fonction des dynamiques d'infestations de ravageurs et des moments de stress traversé par la plante. Aussi, les organes fructifères apparus en dehors de ces périodes d'agression participeraient-ils plus que les autres à l'élaboration de la production (Renou, 2006). En conséquence à l'échelle de la parcelle plus le nombre d'organes fructifères produits pendant ces périodes sera élevé moins grandes seront les chances d'atteindre des rendements élevés (Renou, 2006). En effet, le rendement a pu être amélioré en évitant de faire coïncider une phase sensible pour la production de la plante avec de fortes pullulations (Renou, 2006).

De fait, les infestations de nombreux ravageurs croissent au fur et à mesure que la campagne progresse. Cela a été observé pour les chenilles carpophages telle que *Helicoverpa. Armigera*, de même que les mouches blanches et les jassides (Renou, 2006). Il s'est agi alors, par usage de techniques d'implantation rapide telle que travail minimum du sol, d'effectuer un semis précoce (Renou, 2006). En outre, La pratique des densités de plantation élevées s'est avérée être une stratégie permettant d'augmenter le nombre d'organes fructifères par unité de surface (Renou, 2006). En somme, la qualité du semis est déterminante pour l'amélioration du rendement. Le tout réside dans un choix judicieux de la densité mais également de la période afin d'esquiver l'impact négative d'attaques parasitaires.

3-3- Impact des ravageurs et maladies

3-3-1-Ravageurs

En Afrique de l'Ouest, une des principales contraintes à l'amélioration du rendement en culture cotonnière est la présence d'insectes ravageurs (Brévault et *al.*, 2019). Au moins 200 espèces de ravageurs ont été recensées, sur lesquelles seulement quelques-unes nuisent réellement au coton (Brévault et *al.*, 2019). Une part représentant 42,5 % des espèces déprédatrices rencontrées au Mali, ont été également observées au Burkina Faso, au Tchad, au Togo et au Cameroun (Renou, 2006). Cette proportion s'est élevée à 80,0 % lorsque l'évaluation s'est concentrée sur les lépidoptères qui, ne représentent que 9,3 % des espèces déprédatrices du cotonnier au Mali (Renou, 2006). En outre, en culture cotonnière au Mali plus de 200 ravageurs ont déjà été répertoriés (Renou, 2006). Mais dans ce complexe qui est dominé par les coléoptères et les hémiptères (79,5 % des espèces) seules quelques espèces sont réellement très nuisibles (Renou, 2006). En effet, parmi elles, se trouvent les chenilles des capsules (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rothschild et *Earias spp*) (Renou, 2006) (Figure 5 et 6). Chaque pays connaît une spécificité au niveau parasitaire, ainsi, des chenilles carpophages se retrouvent également sur le coton en Côte d'Ivoire (PR-PICA, 2018).

3-3-1-1- Suivi parasitaire

En Afrique de l'Ouest, Le coton bénéficie d'un suivi parasitaire intégré sous régional, dans le cadre du Programme Régional de Protection Intégré du Coton en Afrique (PR-PICA) qui se réunit annuellement en colloque scientifique. Ainsi lors de chacune de ces sessions, différentes communications sont faites sur l'efficacité des programmes de lutte antiparasitaires vulgarisés dans les pays membres (Bénin, Burkina Faso, Mali, Sénégal, Côte d'Ivoire et Togo) (PR-PICA, 2019). Les ravageurs rencontrés sont essentiellement :

- les lépidoptères phyllophages (*Haritalodes derogata* Fabricius, *Anomis flava* Fabricius, *Spodoptera littoralis* Boisduval) ;
- les lépidoptères carpophages endocarpiques (*Thaumatotibia leucotreta* Meyrick, *Pectinophora gossypiella* Saunders) ;
- les lépidoptères carpophages exocarpiques (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Earias spp*, *Diparopsis watersi* Rothschild) ;
- les aleurodes piqueur-suceurs, (Figure 7) (*Bemisia tabaci* Gennadius) ;
- les acariens piqueur-suceurs (Figure 8), (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) ;
- les jassides piqueur-suceurs (*Jacobiella spp*) ;
- les pucerons piqueur-suceurs (Figure 9 et 10) (*Aphis gossypii* Glover);

- les punaises piqueur-suceurs (*Dysdercus völkerei* Schmidt) (PR-PICA, 2019).



Figure 5 : Dégâts de *Helicoverpa* (Silvie, 2012)



Figure 6 : Dégâts de *Diparopsis* (Silvie, 2012)

Leur incidence est évaluée par un contrôle régulier permettant de détecter larves et adultes dans les parcelles et par l'analyse sanitaire des capsules vertes à différentes périodes du cycle du cotonnier (PR-PICA, 2018). Ce suivi conduit par les centres de recherche et sociétés cotonnières, permet de définir le niveau de la pression parasitaire dans chaque pays. Il en est ressorti quelques points saillants depuis quelques années. En effet, le PR-PICA (2018), a signalé des ravageurs émergeant auxquels il faut accorder une plus grande attention. Ainsi, ont été mentionnés les jassides, les mouches blanches, les acariens (dégâts en Figure 8) et la chenille légionnaire (*Spodoptera frugiperda*) (PR-PICA, 2018). La recrudescence des jassides, constatée à partir de 2015, a été liée à la réduction de la pluviométrie (PR-PICA, 2018). En dépit de l'utilisation des pesticides, la part de récolte prélevée par les ravageurs a été estimée en moyenne à 29 % dans le monde (Oerke, 2005). Dans la zone couverte par le PR-PICA, les pertes de récolte liées aux attaques parasitaires varient en moyenne entre 20 et 50 % de 2015 à 2017 (PR-PICA, 2018).

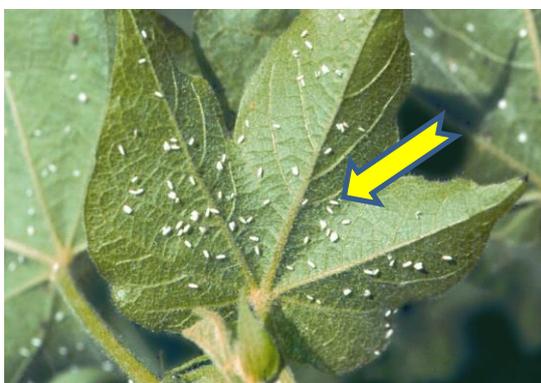


Figure 7 : *Bemisia* (Mouche blanche) (Silvie, 2012)

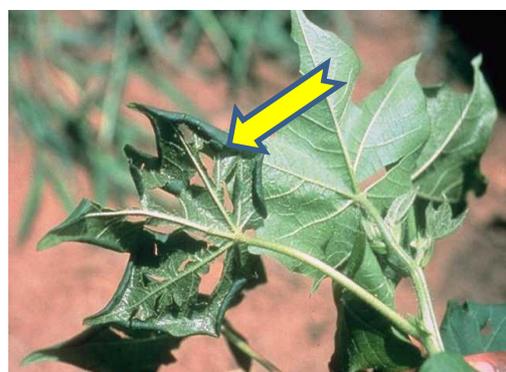


Figure 8 : Dégâts d'acariens (*Polyphagotarsonemus*) (Silvie, 2012)

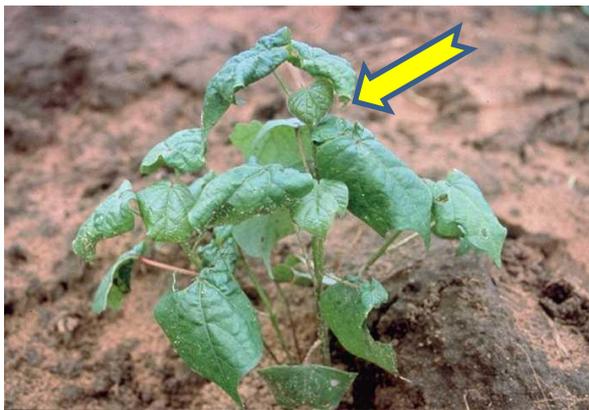


Figure 9 : Dégâts de pucerons (Silvie, 2012)



Figure 10 : *Aphis* (Pucerons) (Silvie, 2012)

Spodoptera frugiperda, originaire d'Amérique latine, introduit en Afrique à la faveur des changements globaux (Goergen et al., 2016 ; Silvie, 2018), s'est propagé très rapidement, faisant des ravages sur le maïs au point de devenir une menace pour le coton. En somme en Côte d'Ivoire, les pertes de récolte ont été estimées à environ 30 % en moyenne de 2015 à 2017 (PR-PICA, 2018). Cette information rend impérative la mise en place d'une lutte efficace contre les ennemis du cotonnier. En effet, tous les stades végétatifs du cotonnier sont attaqués, de même que la graine, dont le contenu est sucé par *Disdercus* (Figures 11 et 12).



Figure 11 : *Disdercus* sur capsule de cotonnier (PR-PICA, 2019)

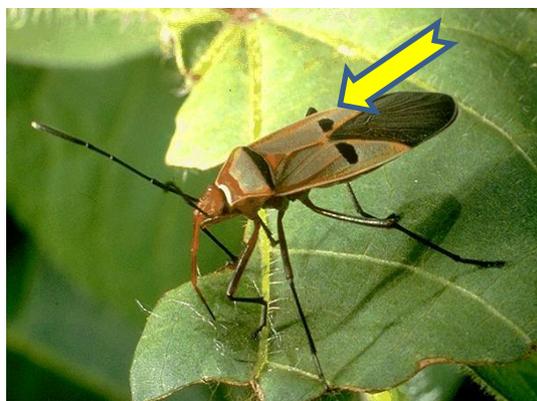


Figure 12 : *Disdercus* spp
(PR-PICA, 2018)

3-3-1-2- Efficacité des traitements

La méthodologie pour la détermination des niveaux de perte de récolte et d'efficacité des programmes de traitement contre les ravageurs est résumée dans les formules suivantes (PR-PICA, 2019) :

$$L_{pp} = [(PP-NT) \times 100/PP] \quad (7)$$

$$L_{pv} = [(PV-NT) \times 100/PV] \quad (8)$$

Où L_{pp} est le pourcentage de gain de récolte pour le programme de protection poussée,

L_{pv} , le pourcentage gain de récolte pour le programme vulgarisé,

PP, PV et NT représentent respectivement les rendements des parcelles soumises au programme de protection poussée, programme vulgarisé et témoin non traité.

Ainsi, les programmes vulgarisés de traitement d'insecticides ont eu, dans les pays concernés, une efficacité moyenne d'environ 80 % (PR-PICA, 2018). De fait, en Côte d'Ivoire, les applications ont connu une grande variabilité d'efficacité, allant de 92 % en 2015 à 89.7 % en 2017 en passant par 82 % en 2016 (PR-PICA, 2018). Cette variabilité démontre la complexité de la gestion des ravageurs, qui développent des capacités de résistance ou d'accoutumance aux pesticides utilisés (Barzman et *al.*, 2015). Ainsi, des efforts doivent être fournis pour améliorer le niveau de cette efficacité au-delà de 90 % (PR-PICA, 2018). Pour y parvenir, le PR-PICA (2018) propose une accentuation des traitements calendaires de 6 à 8 applications de pesticides par cycle de production. Toutefois, cette approche reste dans la logique des luttés chimiques, qui ont montré leur limite (Bazman et *al.*, 2015). En effet, il existe des alternatives notamment les luttés biologiques, biotechniques, autocide, génétiques et culturale (Brévault et *al.*, 2019). Pour la dernière méthode citée, un semis précoce par exemple a été envisagé pour permettre à la culture d'éviter la période de pullulation parasitaire (Renou, 2006). Cette préconisation amène à s'interroger sur la satisfaction du besoin en eau pour ces semis, car ils seraient alors en décalage avec la période des pluies utiles. Des cultures ainsi implantées, pourraient voir leur rendement sévèrement affecté par le stress hydrique (Khan, 2018). En plus des insectes, Michel (1948) a signalé la présence de nématodes à Madagascar. En effet, *Pratylenchus delattrei* IL et *Hoplolaimus seinhorsti* IL, ont été retrouvés aussi bien dans le sol que les racines. Signalés comme les plus dangereux, ils ont été retrouvé aussi bien sur les cotonniers sains que sur les pieds malades (Michel, 1958). Par conséquent ils ne pouvaient pas être identifiés comme les responsables de la fonte de semis mais comme des agents facilitants par leurs attaques, la pénétration de différents agents pathogènes par les racines (Michel, 1958).

3-3-2 – Maladies du cotonnier

3-3-2 –1 – Généralités sur les maladies du cotonnier

Les agents responsables de maladies sur cotonnier, provoquent environ 10 % des pertes de récolte (Ferron et *al.*, 2006). Ainsi, les maladies les plus connues sur le cotonnier étaient la fusariose et les fontes de semis, toutes les deux, dues à des champignons (Cauquil, 1986).

En effet, des symptômes de fusariose peuvent apparaître à tout stade de développement des cultures (Davis et al., 2006). Les cotylédons affectés flétrissent et meurent rapidement et, à ce stade, les symptômes peuvent être confondu avec ceux de la fonte des semis (Davis et al., 2006). Toutefois, le système vasculaire brun de l'hypocotyle distingue la flétrissure fusarienne des fontes de semis (Davis et al., 2006). Ainsi, les organismes causant les fontes de semis sont principalement, *Colletotrichum gossypii*, *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseoli* (Cauquil, 1986 ; Davis et al., 2006) et *Pythium ultimum* (Hancock, 1977). En effet, ces agents pathogènes sont soit portés par la graine de coton, soit présent dans le sol (Cauquil, 1986 ; Hancock, 1977). Parallèlement, la Fusariose est due à l'action de *Fusarium oxysporum* qui occasionne le jaunissement et le flétrissement des feuilles (CNRA, 2005).

De plus, une mauvaise fertilisation, un stress hydrique et le semis tardif favorisent la maladie (CNRA, 2005). En outre, ces micro-organismes responsables d'infections externes ou internes, portés par la semence ou déjà présents dans le sol, peuvent constituer un complexe comportant plusieurs éléments en interaction (Davis et al., 2006). En effet, *Xanthomonas campestris*, responsable de la bactériose du cotonnier est considéré comme intervenant potentiel dans ce complexe parasitaire (Cauquil, 1986).

Ainsi, le type et la fertilité du sol, les interactions avec les nématodes et d'autres micro-organismes présents dans le sol sont des facteurs qui peuvent avoir une incidence sur la gravité de la fusariose et les pertes de rendement subséquentes (Davis et al., 2006). Parallèlement, Laboucheix (1986), a décrit une maladie du cotonnier liée à un vecteur, *Orosius cellulosus*, appelée virescence florale. Ses dégâts se manifestent par un verdissement des boutons floraux, puis les structures florales se transforment en lames foliacées, suivit de possibles jaunissement foliaire, évoluant vers le stade phyllodie (Laboucheix, 1986).

3-3-2-2- Maladies connues en Côte d'Ivoire

Les conditions de développement des maladies et les agents inféodés au cotonnier sont résumés dans le tableau 9. De fait, plusieurs souches *Fusarium oxysporum f. sp. Vasinfectum* ont été identifiées en Côte d'Ivoire (Abo et al., 2005). Concernant *Fusarium oxysporum* Schlecht, la température optimale de croissance mycélienne a été identifiée entre 20 °C (sur *Fusarium moniliforme*) (Yadav et al., 2013) et 24 °C (sur *Fusarium oxysporum f.sp. lini* Bolley) (Pal et al., 2019). Quant au pH, il évolue entre 5 (Yadav et al., 2013) et 5,5 (Pal et al., 2019) (Tableau 14).

La figure 13 montre la progression du mycélium de *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* dans la tige du cotonnier et les figures 14 et 15 montrent des cotonniers atteints de fusariose. De même, pour *Pythium ultimum*, températures obtenues aussi bien en culture, en croissance mycélienne optimal qu'en formation et germination des spores, sont comprises entre 22 et 30 °C (Hancock, 1977). En outre, dans le sol en mélange avec les matières organiques provenant du coton, l'optimum de température a été évalué variant entre 15 et 22 °C (Hancock, 1977). De plus, la pluviosité a un effet stimulateur sur la recrudescence de la maladie (Hancock, 1977).



Figure 13 : Décoloration vasculaire caractéristique d'une tige de coton infectée par *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* (gauche) et tige saine (droite) (Davis et al., 2006).

Tableau 14 : Condition de développement des pathogènes responsables de maladies chez le cotonnier

Pathogènes (Maladies)	Températures	Sol	pH*
<i>Fusarium spp</i> (flétrissement)	Optimum* entre 20 et 30 °C ; 24 à 25°C pour <i>F.oxysporum</i>	Sablo-argileux favorable, limono-argileux défavorable ¹	5 à 5,5
<i>Pythium spp</i> (fonte de semis)	22 et 30 °C en surface du sol 15 et 22 °C, en mélange avec la matière organique dans le sol ²	matières organiques mélangées aux 1 ^{er} 15 cm de couche de sol	-
Phytoplasme (Virescence florale) ³	Toutes conditions favorables à la pullulation des vecteurs, essentiellement des parasites piqueur-suceurs	Principal vecteur <i>Orosius cellulosus</i>	

Source : ¹(Cauquil et Mildner, 1965 ; Alabouvette et al., 1982) , ²(Hancock, 1977), *(Yadav et al., 2013 ; Drame, 2004 ; Pal et al., 2019) , ³(Follin, 1982 ; Cauquil et Follin, 1983)

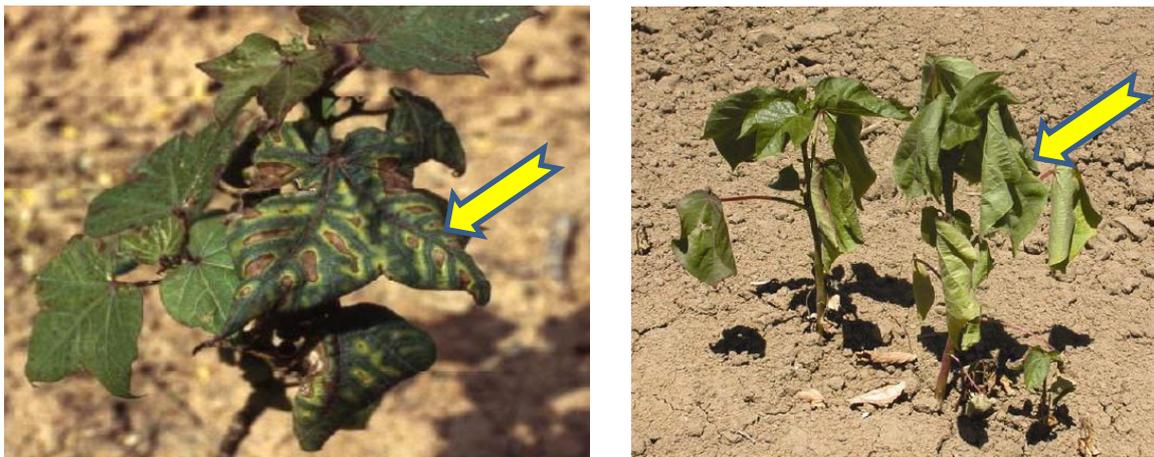


Figure 14 : Nécrose et chlorose (fusariose sur cotonnier) **Figure 15** : Flétrissement de cotonnier (Fusariose)
(Davis et *al.*, 2006).

Parallèlement, la virescence florale a gagné la Côte-d'Ivoire en 1970 (Follin, 1982). Dès 40 à 50 jours d'âge du cotonnier, les premiers symptômes apparaissent (Cauquil et Follin, 1983). Dès lors, survient un jaunissement généralisé du feuillage, suivi parfois d'un rabougrissement, ultérieurement, les boutons floraux et les pièces florales se transforment en structures foliacées, c'est la phyllodie (Cauquil et Follin, 1983). Principalement en culture, *Orosius cellulosus* Lindberg, une cicadelle qui a été identifiée comme vecteur de virescence florale (Follin, 1982). Les pertes liées à cette maladie ont été estimées à environ 2 % de la production au Burkina (Follin, 1982). Bien que négligeable en Côte d'Ivoire, des pertes totales de cultures ont été signalées aux alentours de Kani et Odienné, respectivement localisées à l'ouest et au nord-ouest de la bande cotonnière ivoirienne (Follin, 1982). En Côte d'Ivoire, en zone infestée, une application foliaire d'insecticides a permis d'assurer une bonne protection contre la virescence en milieu traditionnel (Cauquil et Follin, 1983). En outre, le traitement systématique des semences, permettent généralement de contrôler les principales maladies cryptogamiques connues (Ferron et *al.*, 2006). Aussi, la lutte contre ces maladies exige-t-elle un suivi régulier des parcelles de coton, afin de réduire leur nuisibilité par rapport au rendement du cotonnier.

3-4- Evolution des rendements

3-4-1- Rendements

Le rendement en coton graine varie selon les sociétés cotonnières (tableau 15). En Côte d'Ivoire, les moyennes nationales communiquées par Intercoton (2019) au colloque scientifique du PR-PICA en 2019 sont respectivement de 1260, 1258 et 1096 kg/ha en 2016, 2017 et 2018 (Tableau 16).

3-4-2- Qualité du coton

Le niveau de fertilisation et les différentes attaques parasitaires des parcelles de coton, influencent les propriétés physiques et l'aspect de la fibre. Certains piqueur-suceurs, sont connus pour les dépôts de miellats sur la fibre de coton (Brévault et *al.*, 2019), entraînant la dégradation de sa qualité. Aussi, une classification a-t-elle été mise en place pour le coton graine à la récolte. Ce critère se décline en deux ou trois choix en fonction des pays (Tableau 16 et 17) (Intercoton, 2018b).

Tableau 15 : Production en coton graine en Côte d'Ivoire campagne 2018-2019

Rendement (kg/ha)	CIDT	IVOIRE COTON	COIC	SECO	SICOSA	GLOBAL COTON	Moyenne Nationale
*Campagne 2018-2019	1 211	910	1 346	1 067	750	624	1 096
Campagne 2017-2018	1 230	1 254	1 430	1 147	1 017	275	1 258
Campagne 2016-2017	1 230	1 254	1 429	1 152	1 031	275	1 260

Production en coton graine en Côte d'Ivoire campagne 2018-2019 ; *Données au 04 Avril 2019.

Source : Intercoton (2019)

Tableau 16 : Critères de détermination de la qualité du coton graine

Qualité	Caractéristiques
1 ^{er} choix	Coton blanc sec (humidité inférieure à 10 %) pas de contact avec le sol
2 ^{ème} choix	Coton jaunis sous l'effet de l'humidité, de qualité améliorée par le tri
3 ^{ème} choix	Coton jaune, pas correctement trié et comportant des débris végétaux

Source : Kadekoy et Bello (2007)

La qualité du coton produit bord champ est prise en compte dans la fixation des prix bord champ (tableau 17). Pour la Côte d'Ivoire, en 2018, les prix ont été respectivement de 265 FCFA/kg et 245 FCFA/Kg pour le 1^{er} et 2^{ème} Choix (Intercoton, 2019). A ces montants, des ristournes dépendant des sociétés cotonnières, peuvent être reversées aux producteurs (Coulibaly, 2019). Ainsi, en 2018, la plus élevée des rémunérations, a été versée par le Sénégal (300 FCFA/kg) (Commodafrica, 2018 ; Intercoton, 2018). Ensuite, ont suivi le Bénin et la Côte d'Ivoire (265 FCFA/kg) puis le Mali (255 FCFA/kg) et le Burkina Faso et le Togo (250 FCFA/kg) (Commodafrica, 2018; Intercoton, 2018).

Parallèlement, plus la récolte est riche en coton de 1^{er} choix, plus le pays producteur gagne en notoriété à l'exportation. En effet, selon Commodafrica, (2018), le département américain de l'agriculture (USDA) a souligné comme positive, l'évolution en qualité de la fibre ivoirienne qui s'est améliorée, passant de 30 à 40 % en 2016-2017 de première qualité et qualité supérieure, à plus de 60 % en 2017-2018. A ce niveau, c'est le suivi de la parcelle cotonnière du semis à la récolte qui contribue à l'obtention d'une bonne qualité.

Tableau 17 : Prix d'achat (FCFA) du kilogramme de coton graine en Afrique de l'ouest campagne 2018-2019

Qualité	Benin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Sénégal	Togo
1 ^{er} choix	265	250	265	255	300	250
2 ^{ème} choix	215	225	245	230	260	230
3 ^{ème} choix				210	195	

Prix d'achat (FCFA) du kilogramme de coton graine en Afrique de l'ouest campagne 2018-2019

Source : Intercoton (2018)

A cet effet, afin de faciliter l'obtention de semences de qualité, de même que l'accès aux machines agricoles, Intercoton a initié trois centres de services agricoles dans les régions, de Mankono, Korhogo et Boundiali (Commodafrica, 2019). De fait une meilleure qualité de fibre ouvre la voie à un meilleur prix sur le marché.

3-4-3- Contraintes de commercialisation

Le marché de la fibre se repartit en deux composantes pour les pays producteurs. Il y a la consommation des filatures locales et celui des négociants pour l'exportation. A ce niveau, il y a eu peu de convergence entre l'évolution des prix des autres produits de base agricoles et celui du coton (Baffes, 2010). C'est au début des années 2000 que cette divergence a vu le jour, notamment entre 2000 et 2008, où l'indice pour la Banque mondiale des prix alimentaires nominaux s'est accru de 147 % contre en tout 21 % au niveau du coton (Baffes, 2010).

Cette situation s'explique principalement d'une part par les subventions élevées accordées au coton stimulant fortement la production et d'autre part, par la croissance rapide de la production Chinoise et Indienne (Baffes, 2010). En effet, de 2002 à 2007, la production de de l'Inde et de la Chine ont augmenté (Berti et al., 2006), respectivement de 126 % et 56 % (Baffes, 2010). Cela, essentiellement grâce à l'introduction de plants transgéniques et de l'irrigation (Baffes, 2010 et EU, 2019).

Ainsi, l'augmentation de l'offre mondiale de fibre, combinée aux taux de change fluctuant des devises constitue un véritable défi pour les pays de la zone Franc CFA, principalement exportatrice de fibre. De fait, le marché local qui pourrait constituer un contrepois aux fluctuations du marché extérieur, reste modeste. En effet, sur une production ivoirienne de 725 000 balles pour la campagne 2018-2019, seulement 50 000, représentant 7 % du total, ont été prévues pour la consommation nationale. (Commodafrica, 2018).

En outre, les filatures, au nombre d'une quinzaine, avec une capacité à charge de 655 000 tonnes par année, font face non seulement à une sous-utilisation des usines, mais également à la forte compétition des tissus importés (Commodafrica, 2019). De tout ce qui précède, il ressort que la culture du coton en Côte d'Ivoire est sous la pression de nombreuses contraintes qui sont aussi bien d'ordre technique que financier. La concurrence de pays producteurs utilisant des technologies plus productives, démontre la nécessité de parvenir à l'amélioration de la productivité des parcelles de coton. Toutefois, un défi complémentaire, lié aux variabilités météorologiques, avec ses effets annoncés dévastateurs pour l'environnement par le GIEC (2013), donne à réfléchir. En effet, il est souhaitable d'analyser le concept de « changement climatique » et particulièrement, de rechercher ses interactions avec l'agriculture en général et en particulier, avec la culture du coton en Côte d'Ivoire.

Chapitre 4: Changement climatique

4-1- Définition du concept

Le changement climatique est l'ensemble des modifications plus ou moins durables, lié au réchauffement planétaire et observé à une échelle mondiale (FAO, 2018). Ainsi, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) en 2018, a défini le changement climatique, comme étant le réchauffement de la planète et ses conséquences. Il s'agit notamment de la fonte des calottes polaires, des glaciers et de l'élévation du niveau de la mer qui en découle (FAO, 2018). En outre, il y a des effets plus graves, puisque le réchauffement est à l'origine de phénomènes climatiques extrêmes. En effet, les perturbations du cycle de l'eau, les modifications de la fonction et de la composition des écosystèmes, l'acidification des océans et, en sont des exemples (FAO, 2018).

Selon Longepe (2014), les membres du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), ont défini le changement climatique comme étant une variation de l'état du climat décelable au moyen de tests statistiques. La variabilité climatique peut être perçue comme des modifications de la moyenne et/ou de l'évolution de propriétés du climat qui persiste pendant une longue période, pouvant atteindre des décennies voir plus (Longepe, 2014).

4-1-1- Constat du réchauffement planétaire

Hansen et *al.* (1981), ont relevé une augmentation de la température globale de 0,2 ° C entre 1960 à 1980, cela représentait une évolution de 0,4°C depuis le 19^{ème} siècle. A ce niveau, l'utilisation du modèle MAGICC-SCENGEN2, a conclu que les températures augmenteraient de 0,6 à 1,3°C d'ici 2030 et de 1,2 à 2,3°C en 2050 (Rousset, 2007). Parallèlement, Larminat (2018), a indiqué dans ses simulations, une augmentation de la température du globe terrestre, selon une tranche comprise entre 0,5°C et 2°C pour les cent prochaines années. De même, Le GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), est un moyen d'estimation de la variation de température de la surface du globe (NASA, 2018).

Ainsi, les données sont régulièrement mises à jour en utilisant des données courantes de stations météorologiques (terre, océan et Antarctiques) (NASA, 2018). Ce dispositif permet à la NASA de déterminer les anomalies climatiques. Néanmoins, il existe des sources potentielles d'erreurs dans les estimations, telle que la chaleur produite par les villes proches des stations météorologiques (NASA, 2018). Aussi, plusieurs méthodes ont été utilisées pour vérifier la magnitude de l'inférence du réchauffement global.

Entre autres techniques, ces méthodes incluent l'inférence du changement de la température de surface à partir des profils de température vertical dans le sol (Puis de Hole) sur plusieurs sites dans le monde (NASA, 2018). En somme, toutes ces recherches ont conclu à une augmentation de la température du globe, avoisinant 0,8°C en 2010 (Hansen et *al.* 2010), soit deux fois la magnitude reportée en 1981 par Hansen et *al.* (1981). Ainsi, malgré de large fluctuations annuelle associées avec le cycle de température d'El Niño-La Niña de l'océan tropical, il a pu être admis que la température globale continue de croître rapidement au 21^{ème} siècle, de nouveaux records d'augmentation étant enregistrés sur chaque décade (Hansen et *al.* 2010). Les perturbations climatiques relevées par la FAO (2017), sont d'origine diverses. Ces changements dans le temps peuvent provenir de variabilités naturelles ou être liés à l'activité humaine (Longepe, 2014).

4-1-2- Causes du changement climatique

Selon le GIEC (2007), C'est l'interférence des activités humaines sur le système climatique qui a été identifié comme la cause majeure des changements observés. En effet, l'influence humaine a été plus sensible sur les rejets dans l'atmosphère de gaz à effet de serre (GES), à savoir, dioxyde carbone, méthane et protoxyde d'azote, et la réduction de la couverture végétale mondiale, depuis le milieu du 20^{ème} siècle (GIEC, 2018). Ainsi, ces activités ont contribué à la concentration des GES et l'appauvrissement de la couche d'ozone. Les activités humaines ont été jugées responsables d'approximativement 1.0°C du réchauffement global à partir de l'aire préindustriel (GIEC, 2018).

De fait, d'une fourchette comprise entre 0.8°C et 1.2°C, ce réchauffement pourrait atteindre 1.5°C entre 2030 et 2052 (GIEC, 2018). Dans la foulée, l'augmentation des températures moyennes pourrait atteindre 4,8°C, à la surface de la terre aux environ de l'an 2100 comparativement à la période de 1986 à 2005, en cas de poursuite des émissions de GES à leur rythme actuel (GES, 2018). A ce niveau, l'estimation de l'augmentation de la température globale est liée au calcul de la concentration du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère GIEC (2007). Ainsi, la variation de l'émission de gaz volcaniques et probablement les effusions lumineuses solaires, sont apparues comme étant les premières causes des fluctuations observées au sujet de l'augmentation de la température GIEC (2007). De même, selon Hansen et *al.* (1981), la concentration en CO₂ atmosphérique est passée de 280 à 300 parts par million en 1880 à 335 à 340 ppm en 1980. A l'origine de cette augmentation se trouve essentiellement l'usage de carburant fossile, les modifications de croissance de la biosphère et la déforestation (Hansen et *al.*, 1981).

Cependant, en dépit du ralentissement de la consommation de carburant fossile, la concentration attendue de CO₂ pourrait atteindre 600 ppm au siècle avenir (Hansen et al, 1981). En effet, la Commission Africaine des statistiques Agricoles de la FAO (CASA, 2013) a estimé que les émissions de GES dans le monde, évaluées à plus de cinquante milliards de tonnes de CO₂ par an, ont changé les concentrations atmosphériques bien au-delà des niveaux naturels. Ainsi, les concentrations atmosphériques de CO₂ ont dépassé 400 ppm en 2013, soit environ 35% supérieur à leurs niveaux d'équilibre préindustriels (CASA, 2013). En la matière, Ce qui est peut-être encore plus important, c'est que les taux d'accroissement dans l'atmosphère sont plus rapides aujourd'hui par rapport ceux des cycles naturels sous-jacents (CASA, 2013).

4-2- Effet du changement climatique

Selon le Programme des Nation Unies pour le Développement (PNUD) (2018), tous les pays du monde sont témoins des graves répercussions du changement climatique. Ainsi, la vie sur Terre pourrait être irréversiblement affectée par une hausse de température de plus de 2°C (GIEC, 2018). En effet, la perte d'habitats naturels et d'espèces, l'élévation du niveau de la mer, la désertification, la réduction des calottes glaciaires, entraîneraient quotidiennement des désastres (GIEC, 2018). Parallèlement, ayant plus que doublé depuis 1990, les émissions de GES ne font qu'augmenter, de plus, le réchauffement mondial provoque des modifications durables de notre système climatique (PNUD, 2018).

4-2-1- Aspect environnemental

Au niveau environnemental, Les effets potentiels du réchauffement global sur le climat au 21^{ème} siècle sont:

- apparition de régions sujettes aux sécheresses en Amérique du Nord et en Asie Central, suite à un déplacement de zone climatique;
- dégradation des calottes glaciaires (tranche ouest) de l'Antarctique, entraînant la montée mondiale du niveau de la mer et l'ouverture du célèbre passage du Nord-Ouest (NASA, 2018).

Dans ce contexte de changement climatique, la sécheresse détient une place à ne pas sous-estimer. De fait, les sécheresses et les submersions sont les deux perturbations d'origine météo-marine qui touchent le plus les sites atolliens de Kiribati (Longepe, 2014). A ce sujet, selon Rousset (2007), les systèmes agricoles et hydriques du nord de la Chine ont été soumis à un défi sans précédent face au changement climatique.

En effet, le réchauffement en vue pourrait accélérer la dynamique déjà observable de détérioration des terres arables et d'aggravation des déficits hydriques (Rousset, 2007). De plus, la montée du niveau de la mer de même que l'extension des zones infectées par certaines maladies à vecteurs comme la malaria, menacent les villes côtières, déjà sous risques d'inondation (Rousset, 2007). Poursuivant, Cournil et Gemenne, (2010), dans les îles insulaires, ont évoqué la crainte première des habitants, eu égard au changement climatique. Cette appréhension est restée liée aux événements climatiques extrêmes, et en particulier aux typhons et ouragans (Cournil et Gemenne, 2010).

Ainsi, au cours des récentes années, plusieurs îles du Pacifique et des Caraïbes ont été touchées par des ouragans, provoquant des dégâts considérables (Cournil et Gemenne, 2010). Dans ces cas, les habitants ont souvent peu de possibilité de se réfugier à l'intérieur des terres, et sont donc directement exposés au danger (Cournil et Gemenne, 2010). À l'inverse, parcourus par des fleuves importants, certains Etats peuvent se sentir à l'abri y compris des pénuries d'eau (Domenach, 2008). Toutefois, ils sont complètement dépendants de pays voisins quant à la disponibilité de cette eau pour leurs populations (Domenach, 2008). Par contre, d'autres Etats doivent lutter contre des dégradations. En effet, de 1997 à 2000, le Bangladesh a dû supporter des inondations durant des mois sur les deux tiers de son territoire (Domenach, 2008). Ces inondations ont touché par millions des familles chinoises et saccagé en partie l'Amérique centrale (Domenach, 2008).

Parallèlement, TOP (2014) a mentionné que l'Afrique de l'ouest connaissait depuis plusieurs décennies des vagues successives de sécheresse dont les répercussions sur les paysages ont été dévastatrices (TOP, 2014). Depuis plus de cinquante ans les crises climatiques variables se sont installées sur le continent avec des longues périodes de déficit profond, entrecoupées de courtes séquences de rémission (TOP, 2014). Dans ce contexte, pour le PNUD (2018), les dommages annuels moyens causés par les séismes, tsunamis, tempêtes tropicales et inondations se chiffrent en centaines de milliards de dollars (PNUD, 2018). En outre, la seule gestion des risques liés aux catastrophes a atteint une dépense annuelle de 6 milliards de dollars (PNUD, 2018). En conséquence, il a fallu se mettre à travailler pour mobiliser 100 milliards de dollars par an jusqu'en 2020, afin de répondre aux besoins des pays émergents et participer à réduire les effets des catastrophes naturelles liées aux mutations climatiques (PNUD, 2018).

4-2-2- Impact sur les populations

Domenach (2008) a soutenu que le monde connaîtrait, les cinquante années suivantes, les plus importants contrastes démographiques de son histoire. En effet, la population de 12 pays triplerait et celle de 51 autres chuterait (Tableau 18) (FNUAP, 2006 ; Domenach, 2008). Ainsi, des pays devraient recevoir les 2,5 milliards d'hommes supplémentaires dans les prochaines décennies, tout en travaillant à s'adapter aux variabilités environnementales et climatiques (Domenach, 2008). En cause, le productivisme alimentaire qui a connu des dérives majoritairement à la base d'un développement économique de plus en plus inquiétant pour la planète et inégalitaire pour les hommes (Domenach, 2008). De plus, les capacités limitées de régulation de la planète ne sont pas compatibles avec l'augmentation de la consommation de ressources de même que de la production de déchets (Domenach, 2008).

Aussi, l'élaboration d'indicateurs (Longepe, 2014) qui résulte de la relative prise de conscience des problèmes environnementaux et démographiques, constitue-t-elle une avancée intéressante. De fait, cela devrait permettre de disposer de données spatio-temporelles comparatives (Longepe, 2014). En réalité, les problèmes sont multiples, partant du niveau local au niveau global, tous les secteurs d'activité publique comme privés, recherchant des informations fiables et harmonisées sur les interactions entre population, environnement et développement (Domenach, 2008). A ce niveau, un document élaboré par l'organisation de coopération et de développement économique (OCDE) et régulièrement mis à jour avec de plus de précision, sert progressivement de référence (Domenach, 2008). En outre, un groupe spécial d'expert, créé par le plan d'action de l'ONU à Bali, s'est réuni à Bangkok en 2008, pour examiner les engagements de réduction des GES, relatifs au le protocole de Kyoto (Domenach, 2008).

Tableau 18 : Distribution de la population mondiale en 2005 en projection pour 2050, par grands groupes d'âge et aire géographique (en pourcentage)

Année	2005 (% Population dénombrée)				2050 (% Population estimée)			
	0-14	15-59	+ de 60	+ de 80	0-14	15-59	+ de 60	+ de 80
Âges (nombre d'années)								
Total Monde	28,3	61,4	10,3	1,3	19,8	58,3	21,8	4,4
Régions plus développées	17,0	62,9	20,1	3,7	15,2	52,2	32,6	9,4
Régions moins développées	30,9	61,0	8,1	0,8	20,6	59,3	20,1	3,6
Afrique	41,4	53,4	5,2	0,4	28,0	61,7	10,4	1,1
Asie	28,0	62,7	9,2	1,0	18,0	58,3	23,7	4,5
Europe	15,9	63,5	20,6	3,5	14,6	50,9	34,5	9,6
Amérique latine et Caraïbes	29,8	61,2	9,0	1,2	18,0	57,8	24,3	5,2
Amérique du Nord	20,5	62,7	16,7	3,5	17,1	55,6	27,3	7,8
Océanie	24,9	61,0	14,1	2,6	18,4	56,9	24,8	6,8

Source: FNUAP (2006)

Au sujet des populations, le concept de ‘migrations climatiques’, s’adapte plus aux habitants d’Asie du Sud-Est et d’Afrique subsaharienne qu’aux petits Etats insulaires (Cournil et Gemenne, 2010). En effet, la prise en compte de la question des réfugiés ou apatrides climatiques par la communauté internationale commence à peine (Cournil et Gemenne, 2010). De fait, la prise en compte des déplacements des populations dus au climat a été évoquée à Bonn en juin 2009 (Cournil et Gemenne, 2010). Aussi, suite à l’échec de Copenhague en 2009, la question des ‘réfugiés ou apatrides climatiques’ peut-elle devenir très sensible dans les négociations climatiques (Cournil et Gemenne, 2010). En effet, soit elle pousse les États à tenir compte des apatrides et/ou réfugiés climatiques en droit international, soit au contraire, s’avèrent contre-productive, elle contribue au repli de certaines nations (Cournil et Gemenne, 2010). A ce niveau, la convention de Genève (1951) ne couvrant pas les réfugiés de l’environnement, Essam (1985) propose des critères de définition des réfugiés environnementaux. Ainsi, Essam (1985), définit ces paramètres dans un rapport du Programme des Nations Unies pour l’Environnement (PNUE), suivant un processus de catégorisation axé sur le caractère temporaire ou non de la migration, la possibilité ou non de retour sur les habitats précédents.

4-2-2-1- Impact sur l’activité humaine

Selon Domenach (2008), une densité de transport automobile dans les pays du Sud égale à celle que connaissent aujourd’hui l’Amérique du Nord, les pays européens et déjà certains pays émergents, serait un incroyable facteur de pollution. Plus largement, les activités humaines ont augmenté et entraîné le déplacement forcé de millions de personnes, soit pour des raisons de conflits armés, accidents industriels, pollutions chimiques ou d’infrastructures, soit suivant un processus de dégradation des écosystèmes terrestres, fluviaux et marins (Domenach, 2008). Ainsi sont apparus les premiers réfugiés environnementaux, au début des années 1980, en référence aux mouvements de personnes suite aux déforestations, désertifications, catastrophes naturelles et industrielles (Domenach, 2008).

En outre, le nombre de réfugiés de l’environnement pourrait prochainement augmenter de façon spectaculaire, dû aux facteurs climatiques entraînant l’érosion des sols, le réchauffement planétaire avec ses impacts sur la pollution de l’eau (Domenach, 2008). Cela a conduit le GIEC, à envisager 200 millions de réfugiés écologiques d’ici 2050 (Domenach, 2008). En effet, Cournil et Gemenne (2010), signalent que les prévisions du GIEC sont confirmées par les impacts des changements climatiques sur les pays insulaires.

Ainsi, les effets recensés sont d'abord environnementaux, allant de l'élévation du niveau de la mer à la multiplication des événements météorologiques extrêmes, puis sociaux économiques (Cournil et Gemenne, 2010). En conséquence, les conditions de vie des populations insulaires vont, dans les années à venir, se dégrader très rapidement, sous l'effet de la salinisation des terres et de l'élévation du niveau de la mer. (Cournil et Gemenne, 2010). En Chine, par exemple, la désertification menace près de 4 000 villages et le désert de Gobi progresse de 10 400 km² supplémentaires par an (Domenach, 2008).

4-2-2-2- Effet sur la propagation des parasites et ennemis des cultures

Le changement climatique, en association avec les échanges globaux, entraînent l'introduction de nouvelles espèces sur des continents d'où elles ne sont pas originaires (Silvie, 2018). Silvie (2018) mentionne la migration de *Helicoverpa armigera* Hübner, Insecte ravageur du cotonnier, de l'Asie à l'Amérique latine en passant par l'Afrique. Il présente également la chronologie de l'introduction de la chenille légionnaire (*Spodoptera frugiperda* Smith) en Afrique. Cette chenille a envahi le Nigeria en janvier 2016, en novembre 2016 elle est signalée présente au Niger, Bénin, Togo et Ghana (Georgen et al., 2016 ; Silvie, 2018). Puis, en février 2017, est retrouvée dans les pays du sud du continent Africain, Afrique du Sud et ses voisins (Silvie, 2018). En Avril 2017, l'Est et du centre de l'Afrique sont envahis par cette chenille, partant de la République Démocratique du CONGO à l'Ethiopie en passant par le Rwanda et le Kenya (figure 16) (Silvie, 2018).

Craig et al. (2018), signalent au Brésil, l'existence de croisement entre *H.armigera* et *Helicoverpa zea* Boddie, insecte local, pour donner un nouvel hybride. De même, Tossou et al. (2019) mentionne la possibilité d'une coexistence de plusieurs espèces d'*Helicoverpa* au Bénin, dont *H.zea* et *H.armigera*. Or, pour *H.punctigena*, présent également au Bénin, la zone de prédilection est l'Australie (Silvie, 2018). Dès lors, il apparaît clairement que le dérèglement climatique en combinaison avec les mouvements globaux fait apparaître la menace d'une recrudescence du parasitisme en quantité et qualité pour la production agricole mondiale.

4-2-3- Impact sur la production agricole

Les productions agricoles sont également affectées par les effets de la variabilité climatique. Selon le GIEC (2018), la limitation de la température globale en dessous de 1,5°C entraînera des pertes de rendement beaucoup moins élevées qu'à 2°C.

A ce niveau, les cultures concernées sont le maïs, le riz, le blé et d'autres céréales (GIEC, 2018). Cette projection s'adresse particulièrement à l'Afrique subsaharienne, au sud-est Asiatique et à l'Amérique du sud (GIEC, 2018).

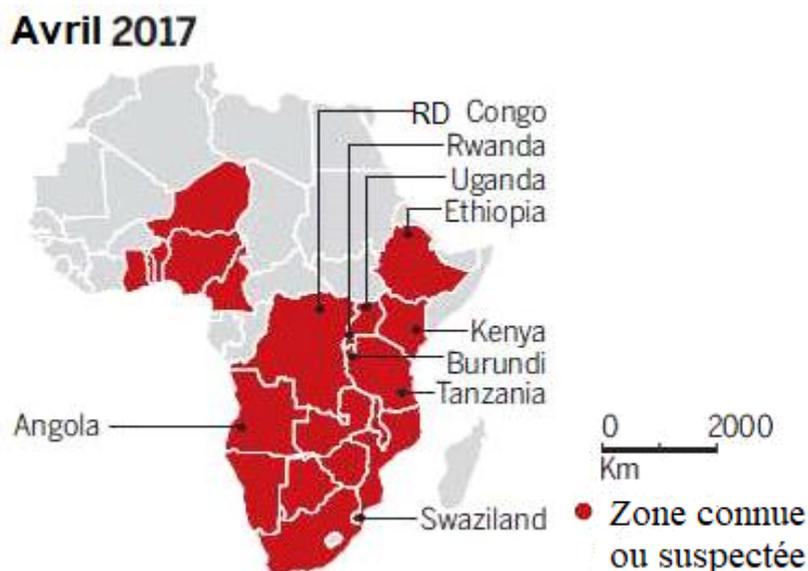


Figure 16 : Introduction et établissement de *Spodoptera frugiperda* en Afrique (Silvie, 2018)

4-2-3-1-Incidence sur la production agricole

Afin de faire face à la croissance démographique mondiale et aux demandes d'énergie, les secteurs agricoles sont de plus en plus confrontés à des défis environnementaux en raison de nouvelles méthodes de production et de l'intensification des systèmes de production intensifs (CASA, 2013). De fait, les espaces ruraux sont de plus en plus déstructurés par l'agriculture et notre relation à la biosphère en ressort bouleversée (Domenach, 2008). A ce niveau, il faut noter, que la productivité de l'agro-industrie a été multipliée par dix par la révolution agricole contemporaine (Hamelin, 2004). En effet ce rapport était au début du 20^{ème} siècle, de l'ordre de 1 à 5009 (Hamelin, 2004).

Ainsi, sur les 3 300 millions d'hectares de terres cultivables, estimées à 22 % des surfaces émergées, 1 400 millions connaissent de fortes contraintes environnementales dans les pays du sud (Hamelin, 2004). En effet, ces Etats sont les plus peuplés de la planète et pour autant, la démographie n'est pas le principal facteur d'inégalités et de division du monde entre riche et pauvre (Domenach, 2008). En réalité, la pollution de la planète est assurée à 80 % par 17 % de la population mondiale avec un revenu de 78 % du total mondial (Domenach, 2008). Parallèlement, la globalisation des marchés et capitaux dans un contexte de libéralisation du commerce, pousse de plus en plus les populations agricoles dans la précarité (Domenach, 2008).

De plus, l'agriculture n'échappera ni aux effets de l'augmentation des températures, ni aux événements météorologiques extrêmes dus au changement climatique à venir (CASA, 2013). De plus, l'impact de la hausse des températures sur l'élevage sera fonction des capacités d'adaptation de l'alimentation et des traitements contre les maladies (GIEC, 2018). En somme, l'agriculture apparaît comme une victime de la variabilité climatique. Toutefois, le secteur agricole est également un grand coupable des changements climatiques (CASA, 2013). En effet, 20 à 25 % des émissions anthropiques du monde sont d'origine agricole, liées aux activités de culture et d'élevage de même qu'à la déforestation (figure 17) (CASA, 2013). Les diverses formes d'exploitation des terres provoquent environ 20 % des émissions anthropiques CO₂, plus de 50 % du méthane (CH₄) et les 67 % du protoxyde d'azote (N₂O) (CASA, 2013). Selon Domenach (2008), la part de l'agriculture dans les prélèvements mondiaux d'eau douce est de 69%. Sur une quantité d'eau de la planète d'environ 1 340 millions de milliards de mètre cube, la part d'eau douce n'excède pas 3%, avec au plus 0,26% utilisable pour les besoins humains (Domenach, 2008). Cette insuffisante portion d'eau douce, est répartie entre la consommation humaine 9%, l'industrie 21% et l'agriculture (Domenach, 2008).

Aussi certains pays connaîtront-ils des difficultés pour la satisfaction de leur besoins (Domenach, 2008). Parmi eux, ceux du Moyen-Orient, une majorité de pays africains et quelques autres pays, parmi lesquels l'Inde, la Belgique, la Pologne (Domenach, 2008). Ainsi, les perspectives mondiales sont inquiétantes, dans la mesure où la demande va s'accroître considérablement et alourdir les difficultés en matière de sécurité d'approvisionnement et de santé (Domenach, 2008). En effet, l'urgence en ce moment est d'aider les États les plus démunis à recevoir d'accueillir les 2,5 milliards d'hommes supplémentaires dans les futures décennies (Domenach, 2008). En outre, d'autres effets du changement climatique, tels que les montées du niveau des mers entraînent la salinisation des sols, les rendant souvent impropres à l'agriculture (Cournil et Gemenne, 2010). Une des conséquences de ces nouvelles conditions de vie est, pour les populations, la perte du régime alimentaire traditionnel, avec son corolaire de problèmes en santé publique (Cournil et Gemenne, 2010). Les risques d'apparition de sécheresse par endroit du globe, ou de salinisation d'eau, annoncés par le réchauffement climatique en cours, interpellent sur la gestion du stock d'eau douce en particulier et de la sécurité alimentaire en général.

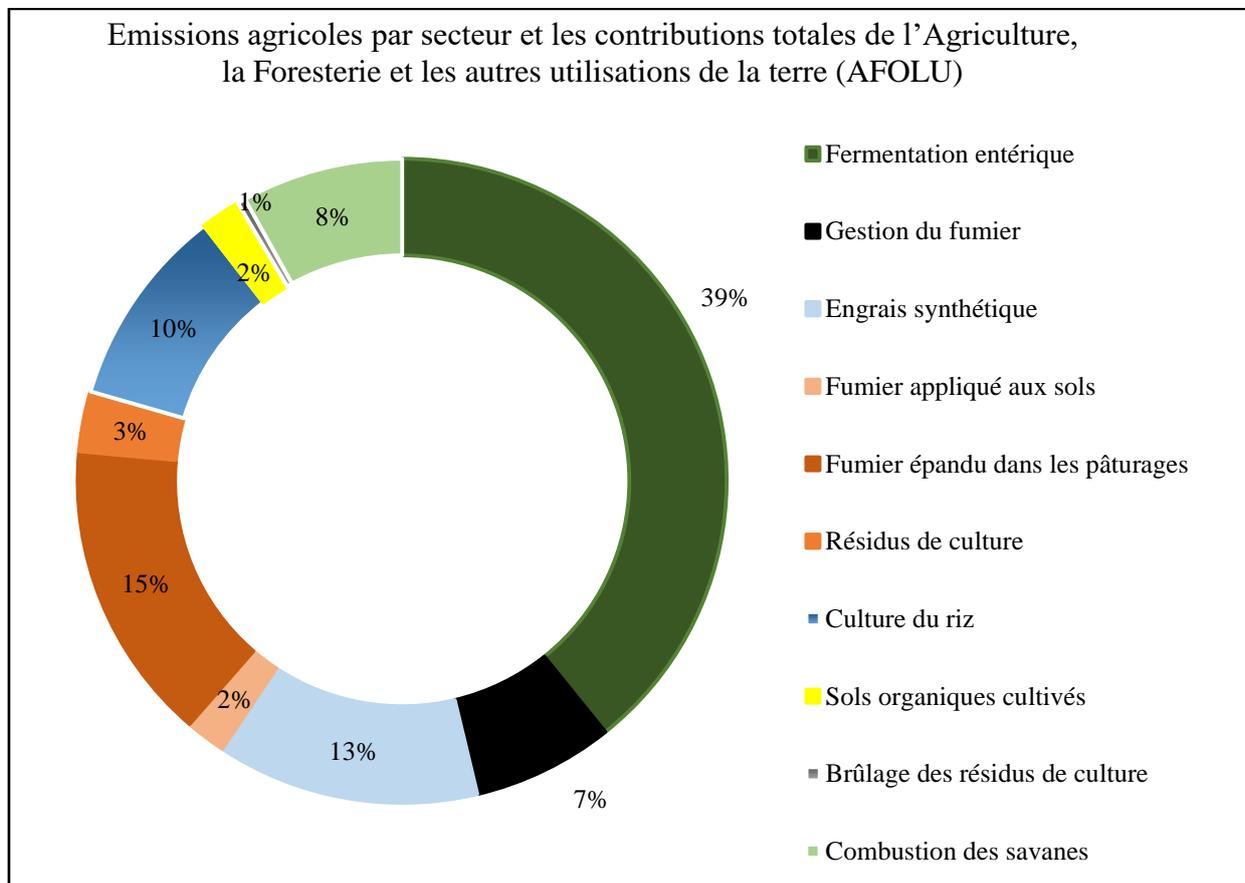


Figure 17 : Emissions agricoles par secteur et les contributions totales de l'AFOLU (CASA, 2013)

4-2-3-2- Aspects relatifs à la sécurité alimentaire

Bien que la communauté scientifique considère généralement que la Terre peut produire assez de nourriture pour tous, on estime à 20 % environ la proportion de population mondiale souffrant d'alimentation déficiente (Domenach, 2008). De fait, la pauvreté constitue le plus souvent le critère principal et on évalue à 1,3 milliard le nombre d'individus qui vivent avec moins de 1 dollar américain (US\$) par jour (Domenach, 2008). Parallèlement, en fin d'année 2013, la FAO (CASA, 2013) indiquent que sur le plan mondial, 842 millions de personnes (12 % de la population mondiale) ont été incapables de satisfaire à leurs besoins énergétiques alimentaires sur la période 2011-2013. Ainsi, environ une personne sur huit dans le monde aurait souffert de la faim chronique, n'ayant pas assez de nourritures pour mener une vie active et saine. La grande majorité de personnes affamées (827 millions) vivent dans les régions en développement, où la prévalence de la sous-alimentation est estimée à 14,3 % (CASA, 2013). Selon FAO (2013), la part régionale des sous alimentés a baissé beaucoup plus en Asie Orientale et en Asie du Sud-Est. Toutefois, elle a augmenté en Asie du Sud, en Afrique subsaharienne et en Asie Occidentale et en Afrique du Nord (CASA, 2013). L'Afrique demeure la région avec la plus forte prévalence de sous-alimentation, avec plus d'une personne sur cinq considérée comme sous-alimentée (CASA, 2013).

Les niveaux et les tendances en matière de sous-alimentation diffèrent sur le continent. Bien que l'Afrique subsaharienne enregistre le niveau de sous-alimentation le plus élevé, des améliorations ont été constatées au cours des deux dernières décennies (CASA, 2013). Ainsi, a été noté dans cette région, une baisse de la prévalence de la sous-alimentation de 32,7 % à 24,8 % (CASA, 2013). Par contraste, l'Afrique du Nord est caractérisée par une prévalence beaucoup plus faible (CASA, 2013). En outre, concernant la vulnérabilité à l'insécurité alimentaire, les fournitures alimentaires ont aussi connu ces dernières années des variabilités largement inhabituelles, reflétant ainsi la fréquence soutenue d'événements extrêmes tels que les sécheresses et les inondations (CASA, 2013). Néanmoins, les petits exploitants, les éleveurs et les pauvres consommateurs restent particulièrement vulnérables (CASA, 2013). En définitive, la quasi-totalité de l'activité humaine est sous la menace du dérèglement climatique. Productions industrielles, touristiques et culturelles sont sous la menace de d'élévations de la température du globe et du niveau des mers. Par conséquent, le réchauffement climatique doit être maîtrisé à +1,5°C au maximum (GIEC, 2018). Partant, cela permettra d'éviter des impacts majeurs sur l'humanité (GIEC, 2018). Ainsi, dans ce cas, le dérèglement persistera mais la planète restera, vivable et viable pour ses habitants (GIEC, 2018).

4-3- Adaptations aux effets du dérèglement climatique

4-3-1- Au niveau international

Dans la problématique du changement climatique, la mise en place de nouvelles stratégies d'adaptation apparaît comme un des grands défis pour l'humanité. En effet, afin de réduire les effets liés à la rapidité du dérèglement climatique, la suggestion par les scientifiques, d'opter pour une gestion de la biodiversité, n'est advenue qu'au début des années 2000 (Sansilvestri, 2015). Selon GIEC (2018), la réduction nécessaire des émissions mondiales de GES pour maintenir la hausse moyenne des températures en dessous de 2°C, est de -70°C en 2050 par rapport à leur niveau de 2010. TOP (2014), mentionne que de nombreuses mesures technologiques associées à une politique volontaire pourraient permettre de maintenir la hausse de la température moyenne du globe à 2°C au-dessus du seuil préindustriel.

Bien qu'encore possible, cet objectif nécessite une intervention collective et immédiate (TOP, 2014). A ce sujet, le protocole de Kyoto, envisageait une baisse de 5 % des GES en 2012 comparativement à 1990 (Pouchard, 2014). Toutefois, cet accord signé en 1997, juridique et contraignant n'est entré en vigueur qu'en 2005, à cause des ratifications tardives, les USA en particulier, refusant de le signer (Pouchard, 2014). Suite à ce tableau sombre dressé par le GIEC au sujet de l'évolution de notre climat, les grands regroupements mondiaux élaborent des stratégies pour faire face au réchauffement prévu (Pouchard, 2014). Lors du sommet de Copenhague en 2009, les Etats se sont engagés à mettre en place des politiques de manière à éviter un réchauffement de plus de 2 °C en 2050 par rapport aux niveaux préindustriels (Pouchard, 2014).

Au niveau des actions, une ambition, a été affirmée par la rencontre de Johannesburg, «Sommet de la terre», en 2002, de faire en sorte de réduire de moitié la population n'ayant pas accès à l'eau potable en (Fedele, 2017). Pour ce faire, il faudrait, en plus du contrôle de la démographie, corriger l'urbanisation anarchique, maîtriser les distensions entre pays, gérer les effluves polluantes de l'industrie et l'agriculture (Fedele, 2017). Aussi, l'utilité de réunions thématiques mondiales apparaît-elle clairement, car en dehors du respect des échéances prévues, une gestion planétaire de l'environnement voit, au fur et à mesure, le jour (Domenach, 2008). En la matière, la gouvernance de la biodiversité, mise en application, sous l'appellation de migration assistée (MA), bien que soutenue par une théorie intéressante, a amené beaucoup d'interrogations (Sansilvestri, 2015). Ces questions ont été d'ordres politiques, économiques, éthiques et écologiques (Sansilvestri, 2015). Aussi, la MA n'a-t-elle pas pu fournir les résultats attendus (Sansilvestri, 2015).

Concernant la thématique forestière par exemple, selon Sansilvestri (2015), les professionnels de ce domaine ont malheureusement tendance à mettre en place plus d'outils qui s'appuient sur la robustesse que des méthodes plus organisées de résilience semblables à la MA. Cela aboutit à des socio-écosystèmes de plus en plus fragiles avec un risque de transitions brutales (Sansilvestri, 2015). En effet, l'amélioration de capacités d'adaptation et de résistance des zones les plus sensibles, doit être combinée aux actions visant à informer les populations et introduire des mesures dans les gouvernances et stratégies des nations (Sansilvestri, 2015). En conséquence, selon le GIEC (2018), limiter les risques de réchauffement de la planète de 1,5° C dans le contexte du développement durable et de l'éradication de la pauvreté implique :

- des transitions de système qui peuvent être rendues possibles par l'augmentation des investissements dans l'adaptation des instruments politiques, l'accélération de l'innovation technologique et des changements de comportement ;
- le soutien au développement durable qui permet souvent les transitions et transformations fondamentales de la société et des systèmes ;
- le renforcement des capacités d'action sur le climat des autorités nationales et sous-nationales, de la société civile, du secteur privé, des peuples autochtones et des communautés locales, ce qui puisse soutenir la mise en œuvre d'actions ambitieuses ;
- La coopération internationale, pour créer un environnement propice à la réalisation de cet objectif dans tous les pays et pour tous les peuples, dans un contexte de développement durable.

Ainsi, concernant la coopération, les Etats insulaires ont, à la conférence de 2009 à Copenhague, clairement revendiqué l'ajustement à 1,5°C au lieu de 2°C, de l'objectif d'augmentation maximale de la température moyenne de la planète (Cournil et Gemenne, 2010).

4-3-2- Au niveau régional

Fedele (2017), rapporte que la plupart des stratégies courantes, dans le but de répondre aux problèmes posés par le changement climatique, tendent bien plus à s'accommoder aux dérèglements qu'à lutter contre les vraies causes de la vulnérabilité. En la matière, la solution réside dans la production d'alternatives soutenables ou l'anticipation des mutations (Fedele, 2017). En effet, les événements liés à la variabilité climatique et les moyens de réponse des écosystèmes confrontés à ces agitations renferment de nombreuses incertitudes (Longepe, 2014). Cette situation complique d'avantage la tâche des différents acteurs (Longepe, 2014). Par exemple, à Kiribati, c'est plus l'adaptation aux perturbations météo-marines qui a été soutenue par les gouvernants (Longepe, 2014).

A savoir, les submersions, l'érosion et la sécheresse (Longepee, 2014). En revanche, aux Maldives, le pouvoir public n'a présenté aucune politique volontaire de modification des systèmes (Longepee, 2014). Bien au contraire, la 2^{ème} solution envisagée a été le déplacement des populations lorsque les dispositions d'adaptation ne suffiraient plus (Longepee, 2014). De même, Fedele (2017), a mentionné qu'au Kalimantan Ouest (Indonésie), les mesures prises par la population ont été de restaurer les maisons inondées de même que les champs et étang piscicoles ou de procéder à leurs relocalisations. A Java Centre, la récolte de produits forestiers pour les besoins de la population, la création de canalisations d'irrigations et puis d'eau et la stabilisation par terrassement des pentes, ont constitué d'autres techniques d'adaptation (Fedele, 2017). Une des options non seulement pour les mesures d'adaptation mais aussi pour un passage orientant vers un développement inclusif et soutenu est la gestion de l'écosystème (Fedele, 2017). Dans ce contexte, la communauté internationale doit, parallèlement à ses efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre, proposer une voie d'adaptation pour les pays en développement. En outre, selon la FAO (2013), il est important, sur l'agenda de développement, d'accorder une priorité à la sécurité alimentaire et à l'agriculture. Aussi, cela devrait-il se faire à travers des réformes globales dont l'amélioration du climat d'investissement, le tout soutenu par des mesures de protection sociale (FAO, 2013). De même, pour Rousset (2017), il faut instaurer des mesures d'adaptation par anticipation.

Ainsi, pour l'agriculture, en particulier, ces dispositions s'articuleraient autour d'une stratégie de l'eau, centrée de façon structurelle sur l'insuffisance de la ressource (Rousset, 2007). Ces choix, tout en répondant à des enjeux actuels, devraient réduire les risques (Rousset, 2007). En effet, selon Kurukulasuriya et Mendelsohn (2007), une des mesures effectives d'adaptation à la montée de la température ambiante et à la chute de la pluviosité, est l'irrigation. Toutefois, l'apport d'eau par irrigation dépend étroitement des stocks d'eau disponibles. Aussi cette mesure d'adaptation représente-t-elle une solution envisageable et viable pour les zones d'Afrique disposant de cours d'eau (Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2007). En effet, une grande partie des Etats Africains sont encore dépendants de ressources d'exportations agricoles telles que le coton. Mise en œuvre en Egypte et au Soudan par exemple, l'irrigation du coton est quasiment absente en Afrique de l'ouest. Il s'agit de poser clairement la problématique de l'accroissement du rendement en culture de coton, dans le contexte du dérèglement climatique.

Chapitre 5: Problématique de la culture du coton dans le contexte de la variabilité climatique

En matière de changements climatiques, les points communs entre les connaissances paysannes et les données scientifiques peuvent contribuer à la mise en œuvre de méthodes d'adaptation durables (Bambara et *al.*, 2016). Ainsi conçu, ces nouvelles stratégies, dans leur mise en œuvre, apparaîtront aux populations comme des innovations.

5-1- Innovation et politiques agricoles

Le thème de la production durable de coton dans sous influence des changements globaux, a été exploré aussi bien du point de vu d'innovations culturelles techniques que sous l'aspect des cultures de coton conventionnelle et biologique (Soumare et Havard, 2017). Ces avancées, bien que prometteuses au niveau de la maîtrise de la fertilité des sols, des rotations culturales, de la gestion des bio-agresseurs et de l'eau (Soumare et Havard, 2017), n'excluent pas la part d'intervention des pouvoirs publics dans l'organisation des systèmes de production. A ce niveau, intervenue en septembre 1998, la libéralisation de la filière coton ivoirienne, avait pour objectif principal l'amélioration des revenus des producteurs, était au début prometteur (Koffi, 2013). En termes de structuration de l'espace cotonnier ainsi que de sa gouvernance institutionnelle, cette libéralisation a eu un impact incontestable en Côte d'Ivoire (Koffi, 2013). Toutefois, en raison des dysfonctionnements liés surtout aux effets pervers de la crise militaro-politique de septembre 2002, cet objectif n'a pas été atteint (Koffi, 2013).

Pendant cette crise, les rendements qui avaient dépassé les 1400 kg/ha au début des années 2000, ont complètement chuté (Ducroquet et *al.*, 2017). L'autre facteur limitant a été la chute des cours mondiaux du coton imputable aux subventions qu'offrent les pays développés à leurs producteurs (Baffes, 2010 et Koffi, 2013). La campagne 2015/2016 a connu une nouvelle baisse liée probablement au fait que les prix du coton graine ont été annoncés tardivement (Ducroquet et *al.*, 2017). Selon Ducroquet et *al.* (2017), les chiffres de semis publiés par INTERCOTON en août 2016 semblent confirmer ce retournement de tendance, montrant une chute sensible du nombre de producteurs (94 105 en 2016) qui repasse sous la barre des 100 000 et une superficie semée de 343 000 ha contre plus de 400 000 ha la campagne précédente (Ducroquet et *al.*, 2017). Bien que remontant progressivement, les rendements restent depuis lors inférieurs à 1200 kg/ha (Ducroquet et *al.*, 2017).

En plus des cours mondiaux, ces contreperformances de la filière ivoirienne seraient également sous l'influence de conditions climatiques défavorables qui auraient agi sur les rendements (Ducroquet et *al.*, 2017).

5-2- Conditions environnementales

En effet, Santosh (2019), a indiqué que le changement climatique entrainera une baisse de rendement pour un grand nombre des cultures, dont le blé et le riz pour une projection de réduction de récolte de 50%, dans les pays en voie de développement tels que ceux de l'Afrique subsaharienne. De fait, l'Afrique de l'ouest est déjà confronté à un phénomène de variabilité climatique sans précédent depuis environ 30 ans, qui a eu un impact considérable sur la vie des populations (Brou et *al.*, 2005). Aussi, la production agricole est-elle déjà affectée par le changement climatique (CC), eu égard à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes environnementaux (Pastori et *al.*, 2019). Ils en découlent des conséquences, qui ont été qualifiées par Brou (2005), de certainement moins prononcées en Côte d'Ivoire que dans les régions du sahel.

Toutefois d'importantes évolutions socio-économiques se produisent (Brou, 2005). En effet, les variabilités imprévisibles du climat ont considérablement perturbé les systèmes cultureux en Côte d'Ivoire (Dekoula et *al.*, 2018). Concernant les systèmes de culture au nord de la Côte d'Ivoire, Diarrassouba et *al.* (2014), a mentionné la présence remarquée du coton, comme culture de rente, au sein des assolements. Ainsi, en 2016, le coton a été une importante activité génératrice de revenus pour l'Afrique de l'ouest en général, avec 2 313 422 ha, dont 343 414 pour la Côte d'Ivoire (PR-PICA, 2017). Cependant, la stagnation des rendements en coton graine a été observée depuis plus d'une décennie (Maurice, 2006), et cela après l'atteinte des 1000 kg/ha à la fin des années 2000 (Bagayoko, 2014).

5-3- Productivité des exploitations cotonnières

Le PR-PICA (2012-2018) a noté, au fil des années, des rendements moyens en deçà de 1 500 kg/ha de coton graine, inférieures au potentiel des variétés vulgarisées. En effet, en station, les cultivars vulgarisés ont obtenu des productions variant entre 1 826 et 1 984 kg/ha (CNRA, 2006). Par exemple, les rendements des campagnes cotonnières ivoiriennes de 2016-2017 et 2017-2018 sont respectivement de 1 260 et 1 258 kg/ha, respectivement (PR-PICA, 2018). Or, c'est l'amélioration du niveau de rendement moyen contribue durablement à l'augmentation de la production totale.

En effet, contrairement aux plus grands pays producteurs, tel que la Chine, dont la progression est liée au niveau de rendement, l'Afrique subsaharienne s'est plutôt axée sur les superficies (Berti et *al.*, 2006). Cette propension à l'expansion des surfaces cultivées, amène à s'interroger sur la disponibilité durable des terres cultivables quant à la population agricole croît d'année en année (FNUAP, 2006) pour une surface de terre arable constante (Domenach, 2008). En effet, pour Traore et *al.* (2017), l'utilisation excessive des espaces est survenue sous l'influence d'une forte croissance démographique et de la variabilité climatique. Cela a entraîné des difficultés dans l'exploitation des ressources naturelles, vu qu'elles appartiennent à une communauté (Traore et *al.*, 2017).

Ainsi, les nouvelles conditions agro-climatiques, vécues comme une contrainte par les agriculteurs, se manifestent par une réduction de la productivité et une diminution des ressources financières des ménages (Noufé et *al.*, 2015). Dans ce contexte, où l'enjeu est d'augmenter la productivité des parcelles, afin d'améliorer le revenu des producteurs, il serait anormal d'indexer le seul facteur climatique. De fait, Il s'agit d'effets intégrés concernant les plantes et les facteurs de stress tels que les hautes températures, la sécheresse, la taille réduite des plantes, les insectes et maladies qui contribuent à l'accélération des pertes de fruits pour environ 40 à 50 % (Tariq et *al.*, 2017).

5-4- Pression des ravageurs et maladies sur la culture

Renou (2006) a suggéré, afin d'améliorer la production en coton graine, de réduire la nuisance des ravageurs, par un semis précoce ou d'augmenter la densité de semis pour obtenir plus de capsules par hectare. Toutefois selon Yang et *al.* (2014), une corrélation parabolique a été établie entre le rendement et la densité de plantation, tous les autres facteurs étant maintenus à leur niveau optimal. Ainsi, le rendement a suivi une courbe quadratique qui a cru avec un apport supplémentaire d'Azote (N) jusqu'à un maximum puis décru (Moore, 1998). Cela conduit à penser que les approches énoncées par Renou (2006) concernant période et densité de semis, restent intimement liées à l'optimisation de certains facteurs environnementaux dont la pluviosité. En effet, Pettigrew (2010), a indiqué que le semis précoce nécessitait une irrigation pour atteindre le rendement escompté. Ce qui impliquait que les producteurs de coton en zone aride ne devaient pas adopter cette stratégie (Pettigrew, 2010). Dans ce contexte, l'amélioration du rendement dépend d'un système de gestion agricole qui mobilise et contrôle l'eau (Assouman et *al.*, 2016).

5-5- Problématique de recherche

Les constats qui précèdent, conduisent à s'interroger sur la possibilité de procéder à un semis précoce lorsque les précipitations sont insuffisantes pour le démarrage de la culture. De même comment densifier les parcelles sans craindre une compétition entre plants pour l'eau ? Le besoin en eau est d'autant plus préoccupant que sa rareté sur une période du cycle cultural constitue une menace pour la culture ((Luo, 2015 ; Khan, 2018). Aussi, à l'instar Pastori et *al.*, (2019), devient-il possible de prédire que l'adoption de pratiques agricoles plus intensive avec des méthodes durables d'irrigation, peut permettre en agriculture, d'accroître efficacement les capacités d'adaptation aux impacts des changements climatiques et autres facteurs externes de stress environnemental. De fait, d'autres cultures de rente ont déjà été confrontées à cette situation dans certaines régions de la Côte d'Ivoire. En effet, selon Kanohin et *al.*. (2012), la baisse de la pluviosité consécutive aux effets de la sécheresse a entraîné une baisse de la production de café et de cacao.

5-6- Justification de la problématique

La variabilité climatique de 1964 à 2005 a entraîné une fluctuation interannuelle de la production de café et cacao (Kanohin et *al.*, 2012). De telle sorte qu'en 2004-2005 les productions de café et cacao ne représentaient respectivement que 43 % et 36 % de celle de la campagne 1981-1982 (Kanohin et *al.*, 2012). Au sujet des précipitations, un suivi a montré un allongement des alternances de périodes sèches et humides passant de 6 à 8 ans après les années 1990, contre 2 à 4 ans avant (Benoît, 2015). De même, selon le PR-PICA (2012), des pluies intermittentes avec de longs arrêts ont limité la mise en place des semis de coton en 2011. De plus, la région ouest africaine a connu un arrêt brusque des pluies à partir du mois de septembre ou d'octobre, en fonction des pays (PR-PICA, 2012).

En conséquence, dû à cette mauvaise pluviosité, au niveau agronomique, les semis n'ont pas été réalisés à la bonne date (PR-PICA, 2012). En effet, après analyse de la pluviosité moyenne mensuelle par décennie au cours de la période 1956-2009, Kanohin et *al.*. (2012) ont déterminé que la période de la grande saison des pluies est passée de 4 mois à 3 mois. Ainsi, le début et fin de la saison cultural du coton qui sont respectivement devenus plus tardif et plus précoce, montrent une réduction de la durée de la saison de pluie utile (Dekoula et *al.*, 2018). Cette variabilité interannuelle des dates de démarrage et de fin de la saison des pluies utiles, a entraîné des problèmes pour le respect du calendrier cultural (PR-PICA, 2017, 2018). La conséquence a été le regroupement des semis de coton en juin, avec les taux de 88 %, 85,3 % et 92,2 %, respectivement en 2016, 2017 et 2018, (PR-PICA, 2017, 2018).

Dès lors, Une telle situation pourrait contribuer à la baisse la productivité du coton (Dekoula et *al.*, 2018). En définitive, la disponibilité de l'eau a toujours été un facteur clé dans la conduite de la production cotonnière (Khanet et *al.*, 2018). De fait, insuffisance peut affecter négativement les processus physiologiques et biochimiques chez la plante, conduisant à une perte de rendement en fibre (Khanet et *al.*, 2018). Ces processus physiologiques chez les plantes sont fonction des différentes phases de croissance et de développement. En la matière, selon Koffi (2005), la durée de la période végétative ou de croissance (DPC) est la période pendant laquelle la quantité d'eau disponible pour la plante dépasse la moitié de l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Figure 18). Cette mesure permet de sélectionner les variétés pouvant être cultivées avec succès en dehors de leur zone d'origine Koffi (2005). En pratique, suivant le tracé graphique, si la ligne représentant la pluviométrie coupe la courbe de (ETP/2) pendant la période de floraison et maturation, alors le rendement sera affecté (Koffi, 2005). De fait, il apparait de 2011 à 2015, une forte baisse de la pluviosité dans l'ensemble de la zone cotonnière ivoirienne, avec des niveaux en deçà de 320 mm sur la période de juin à juillet (Koné et *al.*, 2017). Ainsi, les données de pluviométrie sur un intervalle de 16 années, entre 2001 et 2016 (Figure 18), montrent une réduction de la DPC, avec un recul d'au moins un mois, d'Avril à Mai dans la zone de Korhogo.

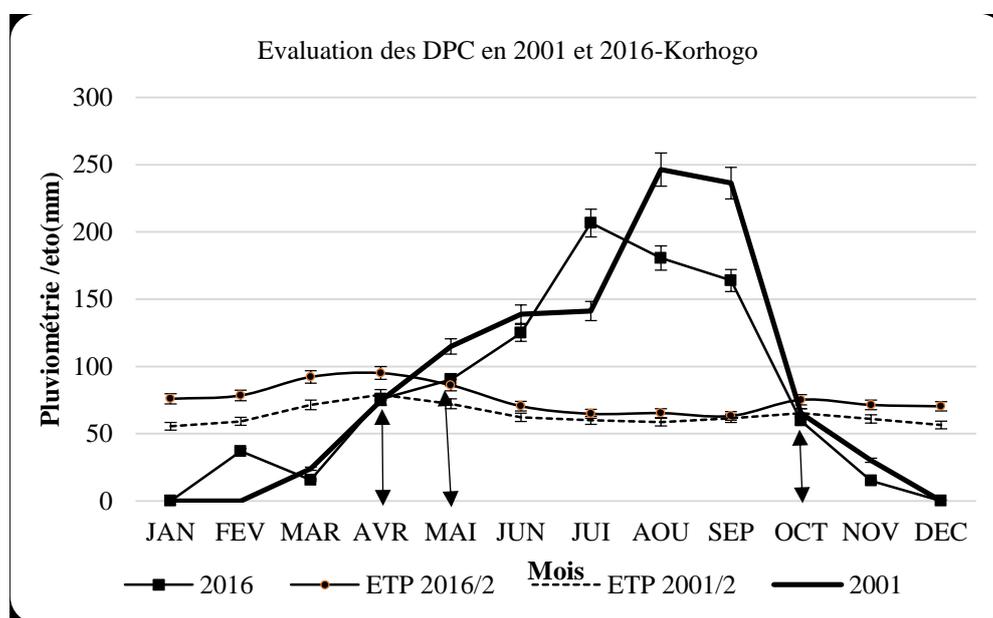


Figure 18 : Période végétative (DPC) en 2001 et 2016

Source : Sodexam (2018)

Cette tendance se confirme avec les moyennes cumulées de données pluviométriques sur deux périodes de 4 années de même intervalle de 16 années. En effet, considérant les périodes de 1998 à 2001 et 2014 à 2017 (Figure 19), il apparaît que les saisons de pluie se sont raccourcies d'au moins un mois (Kanohin et *al.*, 2012), avec un début tardif et une fin précoce en zone cotonnière (Dekoula et *al.*, 2018). En effet, entre les périodes de 1951 à 1980 et 1981 à 2010, les saisons de pluies se sont rétrécies (Bambara et *al.*, 2016). En outre, en juin et juillet 2017, les courbes ETP/2, des zones Médiane et Sud de la zone cotonnière ivoirienne, coupe et touche respectivement celles de la pluviométrie (Figure 20). Cela démontre que des niveaux en deca des précipitations escomptées pour les cultures ont été atteints (Koné et *al.*, 2017). Parallèlement on constate que les dénominations de zone « sèche-Nord » et « humide-Sud » ne correspondent plus à la réalité climatique actuelle, la zone Nord étant devenue plus pluvieuse que le Sud de la bande cotonnière ivoirienne depuis quelques années (Figure 20) (PR-PICA 2012, 2017, et 2018).

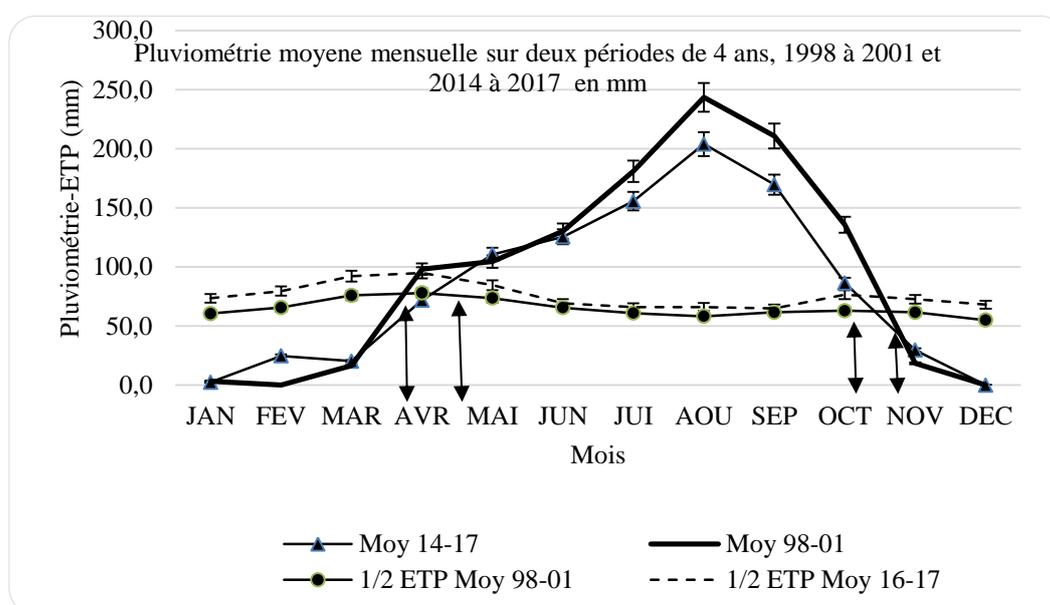


Figure 19 : Période végétative (DPC) sur les périodes de 4 ans (1998-2001 et 2014-2017)

Source : Sodexam (2018)

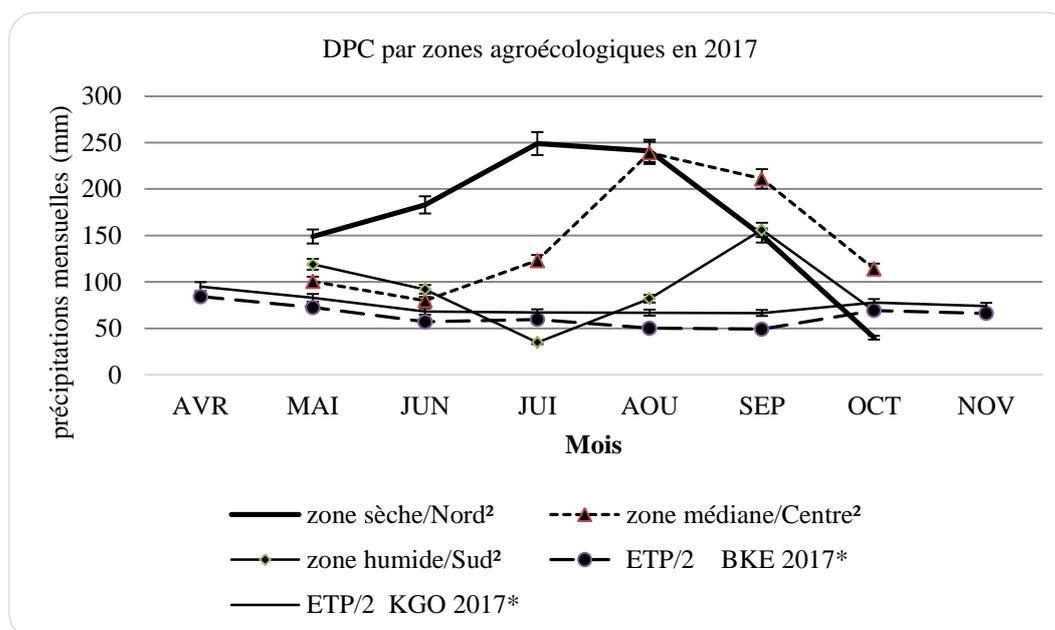


Figure 20 : Période végétative (DPC) par zone écologique en 2017

Source : * Sodexam (2018) ; ² PR-PICA (2018)

5-7- Hypothèse de recherche

En définitive, optimiser la DPC, dans ce contexte de dérèglement de la pluviosité, revient à anticiper les poches de sécheresse par le suivi des relevés pluviométriques, afin de faire un appoint d'eau en cas de déficit hydrique ponctuel. Quelles peuvent être les conséquences pour le cotonnier d'un tel apport d'eau ? C'est pour répondre à cette interrogation que la présente étude a émis l'hypothèse suivante : dans les mêmes conditions d'entretien, l'irrigation d'appoint du cotonnier permet une augmentation significative du rendement en coton graine par rapport à la culture pluviale, sans entrave parasitaire significative.

Aussi, dans le but de vérifier cette hypothèse, une expérimentation a-t-elle été conduite dans la zone cotonnière médiane de la Côte d'Ivoire sur une période allant de 2017 à 2018. L'objectif global de cette étude était d'identifier les populations de ravageurs et de pathogènes sur la culture du coton, d'évaluer leurs dégâts sur les composantes de la production et le rendement, suite à l'introduction d'un système d'irrigation d'appoint. Ainsi, pour y parvenir, il a fallu, de façon spécifique, observer d'une part les maladies et attaques parasitaires et d'autre part examiner les composantes du rendement (la croissance végétative, la densité de plantation, la production capsulaires et le poids moyen capsulaire). Tout cela a nécessité l'usage de matériels et de méthodes bien précises.

DEUXIEME PARTIE :
MATERIEL ET METHODES

Chapitre 6 : Activités expérimentales

Le chapitre des activités expérimentales comprend deux grands thèmes. Il s'agit notamment du dispositif expérimental, relatif au site expérimental de même qu'au matériel utilisé et de la méthodologie qui s'articule autour des techniques de collecte de données et de leurs traitements.

6-1- Dispositif expérimental

6-1-1- Site expérimental

Le site d'expérimentation se trouve à Nidieou qui est un village dans la partie septentrionale de la zone de production du coton. Il est compris entre $9^{\circ}57'$ et $9^{\circ}59'$ latitude Nord et $6^{\circ}35'$ et $6^{\circ}38'$ de longitude Ouest (Figure 21).

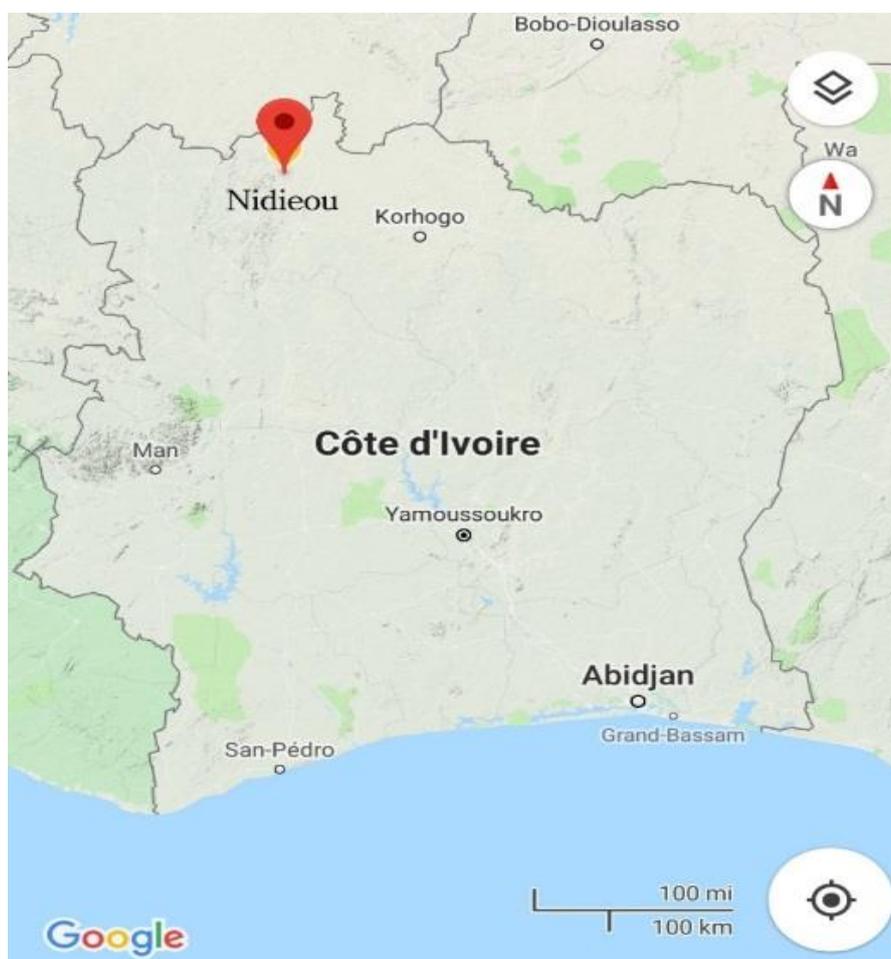


Figure 21 : Localisation du site d'expérimentation à Nidieou (GoogleMap, 2019)

6-1-2- Matériel

6-1-2-1- Matériel biologique

Au niveau du matériel biologique, la semence utilisée a été la variété Y616C, lot 209, provenant de l'usine d'égrainage d'IVOIRE COTON à Boundiali (Nord de la Côte d'Ivoire). Elle a été produite lors de la campagne 2017-2018 par des producteurs de coton sélectionnés par la société cotonnière. Le matériel biologique de base a été fourni à IVOIRE COTON par le CNRA pour la multiplication. La semence, non délimitée, était subdivisée en deux parts de 10 kg, dont une destinée aux objets n'ayant pas subi de traitement chimique.

6-1-2-2- Matériel technique

L'irrigation a été faite par aspersion à l'aide d'une rampe (Figure 22) comportant 6 asperseurs (Figure 23) de 1 m³ par heure sur la ligne, sous une pression de 2 bars. Il a un débit de 16,67 mm par heure (Tableau 19). En effet, le sol est limono-sableux, et la source d'eau est un forage de faible profondeur pouvant contenir limon et matière organique (Laere, 2003). Un puits de 7 m de profondeur, et 1 m de diamètre est creusé à la lisière de la parcelle située à 135 m de la retenue d'eau construite pour le village.

Tableau 19 : Paramètres de distribution des asperseurs

Code du modèle	5022	Pression:	2 (bar)			
Buse :	mm*mm	3.0*1.8	Décharge:	1 (m3/hr)		
Espacement (m)	Espacement (m)	Position	Précipitation	Uniformité		
Entre asperseurs	Entre lignes	Espacement	Dose (mm/h)	CU (%)	DU (%)	SC
6	10	Carrée	16,7	93	91	1,1

Coefficient d'Uniformité (CU %) CU>85 % = Bonne distribution

Uniformité de la Distribution (DU %) DU>75 % =Bon, DU<67 % = non acceptable.

Coefficient de programmation (SC) SC<1,2 = Bon, SC>2,0 =faible

Source : JIC (2016)

Une cuve de stockage d'eau de 1000 L, servant d'appoint (Figure 24), est disposée sur la parcelle et alimentée par le puits. Le dispositif permet d'arroser deux fois pendant 7 minutes 2 fois par jour, entre 6 et 7 h le matin, et après 17 h le soir (Petersen et Gulik, 2009; Milly et Dunne, 2016). L'irrigation est déclenchée au lendemain de l'atteinte du seuil de 3 mm de pluie et/ou après 3 jours sans pluie. La différence entre l'irrigation d'appoint et l'irrigation pérenne est que la première consiste à apporter une petite quantité d'eau aux cultures pour palier à l'insuffisance des précipitations, dans le but de stabiliser les rendements (Laere, 2003).



Echelle :
0 20
cm

Figure 22 : Rampe d'arrosage



Echelle : 0 2,6
cm

Figure 23 : Asperseur Model 5022



Figure 24 : Panneau solaire et réservoir de 1000 litres

Deux pluviomètres (figure 25) distants de 3 kilomètres, dont un a été installé au sein du village et l'autre sur la parcelle expérimentale, ont permis des relevés quotidiens. Le site Radar Météo, téléchargé sur un téléphone mobile androïde de marque Samsung, a permis d'obtenir les données de température, d'humidité relative, de vitesse du vent et de pression atmosphérique. Ces informations ont servi dans l'estimation des besoins hydriques journaliers de la plante (Petersen et Gulik, 2009; Milly et Dunne, 2016).



Figure 25 : Pluviomètre

L'évapotranspiration journalière est de 4 mm (Dekoula et *al.*, 2018). L'enregistrement de la pluviosité de 2017 sur le site expérimental a contribué à situer la période de culture de juin à Octobre 2018. Les semis ont eu lieu sur la période du 28 au 30 mai 2018. La période des saisons de pluies utiles à 80 % part du 25 mai au 3 novembre (Dekoula et *al.*, 2018). La formule est la suivante :

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (9)$$

ET_c = Evapotranspiration de la culture (inch ou mm)

K_c = Coefficient cultural

ET_o = Evapotranspiration standard (mm) (Tableau 20)

Chaque jour la quantité d'eau restant dans sol est déterminée après avoir retranché l'évapotranspiration journalière et rajouter la quantité effective de précipitation ou d'irrigation (Petersen et Gulik, 2009). La formule se présente comme suit :

$$MSWDR = \text{Previous_Day_MSWDR} * (ET_c * PPT_e) \quad (10)$$

MSWDR = Reste d'eau disponible pour la plante (mm)

Previous day MSWD = Déficit maximum en eau du jour précédent (inch ou mm)

PPT_e = précipitation journalière effective (inch ou mm) = $(PPT-5)*0,75$

Les données relatives aux doses d'irrigation calculées son en Annexe. Elles concernent les besoins journaliers rapportés par phase du cycle de cotonnier. A savoir, la levée, la croissance, la maturité et la senescence. La dose journalière retenue est de 3,5 mm (Phase de demande maximale proche de la valeur générale de 4 mm (Dekalou et *al.*, 2018).

Les valeurs de K_c sont respectivement de 0,45, 0,75, 1,15 et 0,75 pour les stades de levée, croissance, maturité et senescence, du cycle de vie du cotonnier (FAO, 2017).

Tableau 20 : Valeurs indicatives d' ET_o (mm/jour)

Zone Climatique	Température moyenne journalière		
	basse (moins de 15°C)	moyenne (15-25°C)	haute (plus de 25°C)
Désert / aride	4-6	7-8	9-10
Semi-aride	4-5	6-7	8-9
Subhumide	3-4	5-6	7-8
Humide	1-2	3-4	5-6

Source: FAO (2017)

6-1-2-3- Matériel Chimique

Au niveau des intrants agricoles, la fumure minérale a été du NPKSB 15-15-15-6-1 Bulk B. Les traitements phytosanitaires ont été réalisés avec des produits autorisés par le service de la protection des végétaux du ministère de l'agriculture (Tableau 21). Il s'agit des herbicides et insecticides suivant par fenêtre d'application. Les applications d'insecticides ont été effectuées selon le programme calendaire recommandé, tous les 10 jours à partir du 35^{ème} jour jusqu'au 115^{ème} jour après levée (JAL) du cotonnier, soit 8 traitements (PR-PICA, 2017).

Tableau 21 : Matières actives des produits agro-pharmaceutiques utilisés pour les traitements

Catégorie	Matières actives	Dose
Traitement de semences	Imidaclopride 250g/kg +Thiram 200g/kg	0,25 kg/100kg
Catégories	Matières actives	Dose (L/ha)
Herbicide Total	Glyphosate 360 g/L	3
Herbicide sélectif	Propaquizafop 100 g/L	0,8
Insecticide 1 ^{ère} Fenêtre	Emamectine 48 g/L + Acétamipride 64 g/L	0,25
Insecticide 2 ^{ème} Fenêtre	Cyperméthrine 36 g/L + Profenophos 300 g/L	0,5
Insecticide Contre 2 ^{ème} génération de chenille carpophage	Indoxacarbe 240 g/L + Novaluron 80 g/L	0,2
Insecticide 3 ^{ème} Fenêtre	Acetamipride 16 g/L +cyperméthrine 72 g/L	0,5
Régulateur de croissance	Mepiquat chlorure 50 g/L	1

6-2- Méthodologie

6-2-1- Parcelle expérimentale

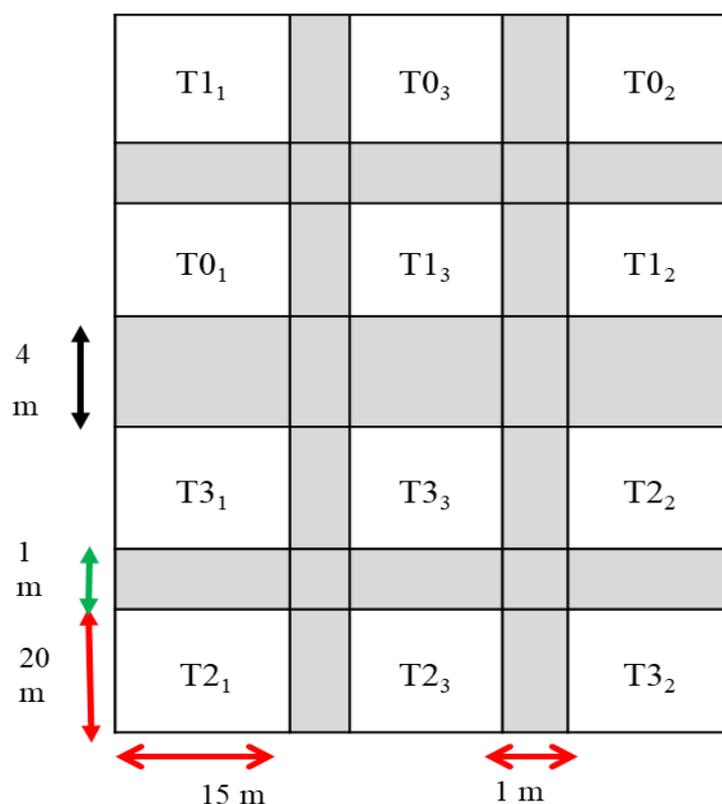
L'étude s'est déroulée au cours de la campagne cotonnière de 2018. Elle a été précédée en 2017 d'études préliminaires de prélèvement et analyse d'échantillon de sol, de relevés pluviométriques et d'ouverture du point d'eau. Le dispositif a comporté des parcelles élémentaires de 300 m² (20 m x15 m), réparties en 4 traitements avec 3 répétitions (Tableau 22 et 23 ; Figure 26).

Tableau 22 : Objets de l'expérimentation

OBJETS	LIBELLES
T0	Témoins non traité (sans d'irrigation et sans produit agro pharmaceutique)
T1	Témoins (sans irrigation, applications de produits agro pharmaceutiques) pratique culturale actuelle- témoin de référence
T2	Innovation (irrigation d'appoint et produits agro pharmaceutiques)
T3	Irrigation, sans produit agro pharmaceutique

Tableau 23 : Dispositif expérimental par blocs et parcelles élémentaires

Bloc 1	Bloc 3	Bloc 2
T1 ₁	T0 ₃	T0 ₂
T0 ₁	T1 ₃	T1 ₂
T3 ₁	T3 ₃	T2 ₂
T2 ₁	T2 ₃	T3 ₂

**Figure 26** : Dispositif expérimental par blocs et parcelles élémentaires

6-2-2- Méthode d'échantillonnage

Au niveau de l'analyse de sol, un échantillonnage systématique a été effectué en mai 2017 sur la parcelle de 0,6 ha, à 30 cm de profondeur (Pleysier, 1991). Cet échantillon a été transmis au laboratoire de pédologie de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'institut national polytechnique (ESA INP-HB). Concernant la parcelle de coton, les observations ont porté sur un échantillon de 30 plants pris par groupes de 5 plants consécutifs par ligne, suivant la méthode séquentielle dite de « la diagonale » (Bruno et *al.*, 2000 ; Nibouche et *al.*, 2003), sur chaque parcelle élémentaire. Les relevés effectués ont concerné la croissance végétative, la présence parasitaire à partir du 30^{ème} jour après la levée (JAL), la densité de plantation et la formation des capsules. Les capsules attaquées sont dénombrées par échantillonnage de 4 capsules sur trois billons suivant la diagonale.

La production en coton graine est estimée à partir de 3 sous parcelles de 4 lignes sur 3 mètres suivant la diagonale par parcelle élémentaire, puis rapportée à un rendement par hectare. Les agents du service d'encadrement de la société cotonnière, formés à cet effet ont participé aux observations parasitaires et décompte de densité.

6-2-3- Analyses d'échantillons de sol et corrections

L'analyse du sol (par le Laboratoire pédologie de INP-HB ESA) conduit à déterminer les besoins nutritifs de la plante par l'identification du type de sol, le pH et les différents composants minéraux. Les résultats obtenus après analyse des échantillons de sol sont contenus dans le tableau 15. A partir de ces résultats trois paramètres fondamentaux sont déterminés. Le type de sol, les volumes d'eau à utiliser et les doses corrigées de fertilisants minéraux. A cet effet, le diagramme de détermination permet de définir le type de sol à partir des proportions d'argile, de sable et de limon enregistrées (Figure 27).

6-2-3-1- Détermination du type de sol

Les données d'analyse (Tableau 24) indiquent, à partir de la figure 26 qu'il s'agit d'un limon-sableux. Les relevés pédologiques réalisés par Assouman et *al.* (2016) au niveau de la plaine alluviale de la Bagoué, mettent en évidence un matériau pédologique structuré en couches composées en surface de 20 cm de limon de couleur brun à ocre clair qui repose sur environ 1 m de sable. Il y a une prédominance de sable 74,3 %. La caractérisation physique a révélé que les sols étudiés ont une texture essentiellement sableuse dans l'horizon superficiel et cela leur confère une faible capacité de rétention en bases échangeables (Assouman et *al.*, 2016).

Tableau 24 : Résultat d'analyse d'échantillon de sol

Eléments	Valeurs	Eléments	Valeurs
Argile (%)	12	pHKCl	4,7
Limon fin (%)	7	Mg ²⁺ (Cmol+/kg)	0,253
Limon grossier (%)	6,65	K ⁺ (Cmol+/kg)	0,074
Sable grossier (%)	52	Densité	1,4
Sable fin (%)	22, 35	Na ⁺ (Cmol+/kg)	0,09
Azote (%)	0,03	CEC (Cmol+/kg)	3,5
Carbone (%)	0,34	Fe (ppm)	76
Phosphore assi (ppm)	164	Mn (ppm)	89
Phosphore total (ppm)	700	Cu (ppm)	0
pHEau	5,6	Zn (ppm)	0

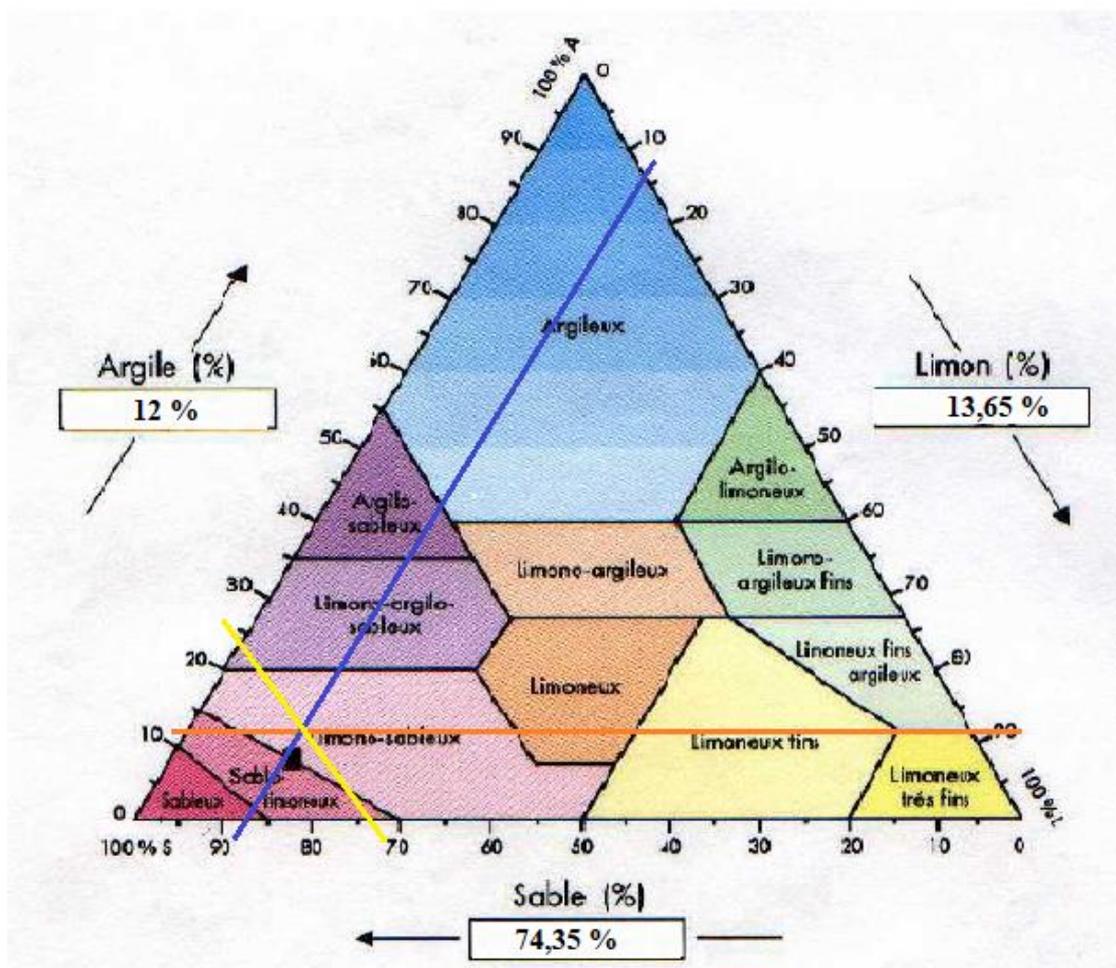


Figure 27 : Détermination du type de sol (sol limon-sableux)

Source : Elharrar (2016)

Concernant la parcelle expérimentale, les résultats (tableau 25) donnent des valeurs proches des limites minimales des seuils admis pour la culture du coton (Kouadio et *al.*, 2018). Ces analyses ont démontré la nécessité d'apporter une correction aux recommandations de fertilisation (CNRA, 2006 ; PR-PICA, 2018). Il a fallu identifier les facteurs de correction et calculer les besoins potentiels.

6-2-3-2- Corrections des doses de fertilisants minéraux

En situation de culture en plein champ, la fertilisation tient compte du déficit du sol et des besoins d'exportation de la plante (Elharrar, 2016). Les quantités destinées à la plante sont multipliées par un facteur de correction permettant de résorber les pertes liées à la structure du sol (tableau 26). Ainsi, Les quantités utilisées par ha, sur les parcelles expérimentales T1 et T2 ont été de 280 kg pour le NPKSB 15.15.15.6.1 et 65 kg pour l'urée à 46 %.

En effet des tableaux 27 et 28, il ressort que les quantités brutes minimales de nutriment N, P et K dont a besoin le cotonnier sont respectivement de 68,8 ; 11,2 et 34,8 kg/ha, dans les conditions de l'étude.

Tableau 25 : Caractéristiques des équilibres chimiques du sol de la parcelle expérimentale

Ratio	C/N	Mg/K	Ca/Mg	K/CEC (%)
Valeurs	11,33	3,42	2,65	2,11
Résultats	Minéralisation Normal	limite inférieure	inférieur au seuil minimal	limite inférieure
VSM	9 < C/N < 12	3 < Mg/K < 25	3 < Ca/Mg < 5	K/CEC ≥ 2 %

VSM= Valeur seuil moyenne (Kouadio et al., 2018)

Tableau 26 : Apport en fertilisants minéraux principaux NPK

Nutriments	Exportation de matières sèches	Identification des besoins		Intrants parcelle expérimentale Urée-46% (65 kg/ha) + NPKSB-15.15.15 .6.1 (280 kg/ha)
	Doses recommandées (Urée 50 et NPK 200 kg/ha)	Parametres ¹	Facteur de correction ² pour plein champ	
N	53	Sol limon-sableux	1,3	71,9
P2O5	30	pH acide, 5,6	1,3	42
K20	30	Sol limon-sableux	1,4	42

Source : ¹données de l'étude / ²Elharrar (2016)

Tableau 27 : Quantité de nutriments exportés pour une tonne de matières sèches de cotonnier entier (Kg/ha)

	Besoins moyens net du cotonnier ¹	Facteurs de correction (plein champ) ²	Besoins brut	Intervalle normal ¹
N	50	1,3 ^a	65	40 à 60
P2O5	9	1,3 ^b	11,7	6 à 12
K20	32,5	1,4 ^c	45,5	25 à 45
Ca	27,5	1	27,5	15 à 40
Mg	7	1	7	4 à 10
S	1,5	1	1,5	1 à 2

^A (sol sablonneux), ^b (pH de 5,6, acide), ^c (sol limon-sableux)

Sources: ¹HAIFA-GROUP (2018) ; ²(^a^b^c) Elharrar (2016)

Tableau 28 : Quantité de nutriments exportés pour une tonne de matières sèches de graine de cotonnier (Kg/ha)

	Besoins net du cotonnier ¹	Facteurs de correction (plein champ) ²	Besoins brut
N	22	1,3 ^a	28,6
P2O5	4	1,3 ^b	5,2
K2O	7	1,4 ^c	9,8
Ca	1	1	1
Mg	0,5	1	0,5
S	0,6	1	0,6

^A (sol sablonneux), ^b (pH de 5,6, acide), ^c (sol limon-sableux)

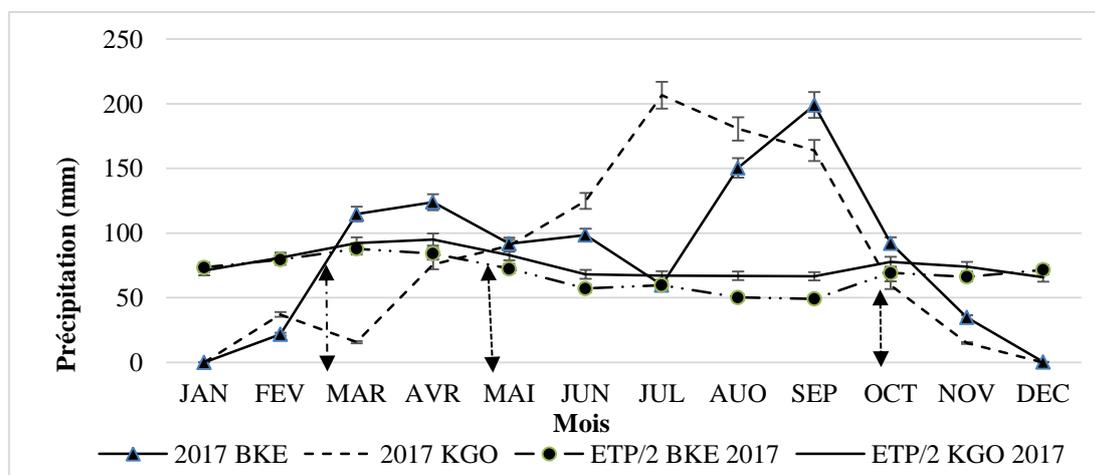
Sources : ¹HAIFA-GROUP (2018); ^{2(a,b,c)} Elharrar (2016)

6-2-4- Exécution des travaux

La mise en place de la culture s'est faite suivant les procédures conseillées par le CNRA (2006). En effet les semis ont eu lieu du 28 au 29 mai 2018. Cette période a été déterminée par le début indiqué de la saison des pluies utiles (Dekoula et *al.*, 2018)) et confirmée par les relevés pluviométriques de 2017 (Figure 28).

6-2-5- Observations phytosanitaires

L'incidence des ravageurs est évaluée par un contrôle hebdomadaire, régulier, permettant de détecter larves et adultes dans les parcelles à différentes périodes du cycle du cotonnier (PR-PICA, 2018). De même, une analyse sanitaire des capsules vertes est conduite (Bonni et *al.*, 2017; Ochou et *al.*, 2018). Les symptômes éventuels de maladies d'origine fongique ou autres, sont recherchés sur la plante du semis à la récolte selon les descriptions précédentes (Cauquil, 1986).



BKE : Bouaké, KGO : Korhogo, ETP/2 : Evapotranspiration potentiel divisée par 2

Figure 28 : Pluviométrie et ETP/2 des zones de Bouaké et Korhogo en 2017

Source : Sodexam (2018)

6-2-6- Analyse statistique

Les données de chaque paramètre ont été collectées sur 3 répétitions pour un nombre d'individus supérieurs à 30. En outre, les essais ont été conduits sur des blocs complètement randomisés (BCR). En effet, la randomisation, tout en permettant de tester la significativité du résultat par le test de Fisher conduit à valider une analyse statistique avec des erreurs indépendantes (Bardin et Azais, 1990). De plus, les données analysées ont été collectées indépendamment les unes des autres sur les parties irriguée et non irriguée du site. De fait, une randomisation restreinte permet d'éviter toute erreur systématique dans l'estimation des effets des différents facteurs et de leurs interactions (Dagnelie, 2000). Ainsi, dans la conception des plans d'expérimentation, une importante place a été accordée aux notions de répétition, de randomisation et de constitution de blocs (Dagnelie, 2000). En effet, en situation de recherche agronomique de plein champ, l'utilisation de BCR est suffisante (Odong *et al.*, 2019).

Un seul paramètre a été utilisé à la fois pour les variables qualitatives définissant les échantillons par traitements T0, T1, T2 et T3 à comparer. Il s'agit notamment pour l'objectif spécifique lié aux ennemis de la culture :

- de l'observation des maladies (fonte de semis, fusariose et virescence florale) ;
- de l'état sanitaire des capsules (ASCV) au 92^{ème} jour après semis.

De même pour l'objectif spécifique qui concerne les composantes du rendement, il s'agit:

- de la taille des plants du semis jusqu'au 73^{ème} jour après semis ;
- du nombre de capsules par plant au 73^{ème} jour après semis ;
- de la densité de plantation à la récolte ;
- du poids moyen capsulaire ;
- du rendement en coton graine.

Pour chacun de ces paramètres, l'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative se traduisent respectivement par tous les traitements ont la même moyenne et au moins une moyenne est différente des autres. Ainsi, ce sont des tests statistiques à 2 facteurs, avec des effectifs suffisants (nombre d'observation supérieur à 30), ce qui conduit à l'utilisation de l'analyse de variance (ANOVA) (Labreuche, 2010). D'où le choix d'ANOVA II sur le logiciel XLSTAT version 2014, au seuil de 5 % d'erreur, suivant la méthode de DUNCAN, En effet, version de test proposée par la plupart des logiciels de statistiques prend en compte l'inégalité des variances (Labreuche, 2010).

En outre, une analyse financière et économique succincte a été élaborée à l'aide des données de commercialisation de coton graine dans la zone du site expérimental. En effet l'analyse financière s'est limitée à un compte d'exploitation dans les conditions d'acquisition du matériel agricole par les producteurs de coton. Parallèlement, l'analyse économique, sur la même base de cession des intrants agricoles, décrit les ratios entre investissement et charges de production. De plus, les sujets d'efficacité des traitements phytosanitaires et de l'irrigation ont été abordés. L'exécution de l'ensemble des travaux a permis de recueillir des données dont le traitement a produit les résultats suivants. Ces résultats concernent aussi bien les aspects environnementaux qu'agronomiques.

TROSIEME PARTIE :
RESULTATS

Chapitre 7 : Résultats

Après les données environnementales, notamment la pluviosité, sont abordés dans ce chapitre, les résultats d'analyses statistiques relatifs aux paramètres mesurés. Il s'agit principalement de d'informations sur les composantes de la production et d'attaques parasitaires des capsules, vu qu'aucune maladie n'a été observée. Ensuite est présentée une analyse financière et économique, relative aux rendements en coton graine des différents objets.

7-1- Au niveau de l'expérimentation

7-1-1- Période de semis et pluviométrie

En plus des relevés de température (Tableau 29), l'humidité relative et la vitesse du vent (Tableau 30) ont été enregistrées. Un total de 1033,5 mm a été enregistré de Mai à Octobre 2018 sur le site expérimental, avec des poches de sécheresse identifiées, principalement en Juin et juillet (Tableau 31). L'irrigation d'appoint, de 24,5 mm, a entraîné une correction à la hausse du niveau de la pluviosité. En effet, les tracés des courbes de pluviosité moyenne dans la zone d'expérimentation et celle sur la parcelle expérimentale ne sont pas similaires (Figure 29).

Tableau 29 : Températures moyennes mensuelles sur site expérimental en 2018

Températures (°C)	Périodes					Moyenne
	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	
Maximum	32,73	31,32	28	30,38	33,45	31
Minimum	22,27	22,05	21	21,86	23,09	22
Moyenne	27,5	26,68	24,5	26,12	28,27	27

Tableau 30 : Humidité relative et vitesse de vent moyennes mensuelles sur site expérimental en 2018

Périodes	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Moyenne
Humidité Relative (%)	67,3	77,9	88,6	83,5	79,7	79,4
Vitesse du vent (km/h)	8,5	7,6	7,8	5,2	5,2	6,9

Tableau 31 : Pluviométrie et données d'irrigation complémentaire en 2018

Période	Périodes						Total
	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	
Pluviométrie moyenne zone (mm)	65,35	168,7	143,85	369,25	220	29,5	996,7
Pluviométrie site expérimentation (mm)	67,8	172	153,2	375,5	236	29	1033,5
Irrigation d'appoint (mm)	3,5	7	14	0	0	0	24,5
Nombre de jour de pluie	5	11	11	17	8	2	54,0
Nombre de jour d'irrigation	1	2	4	0	0	0	7,0

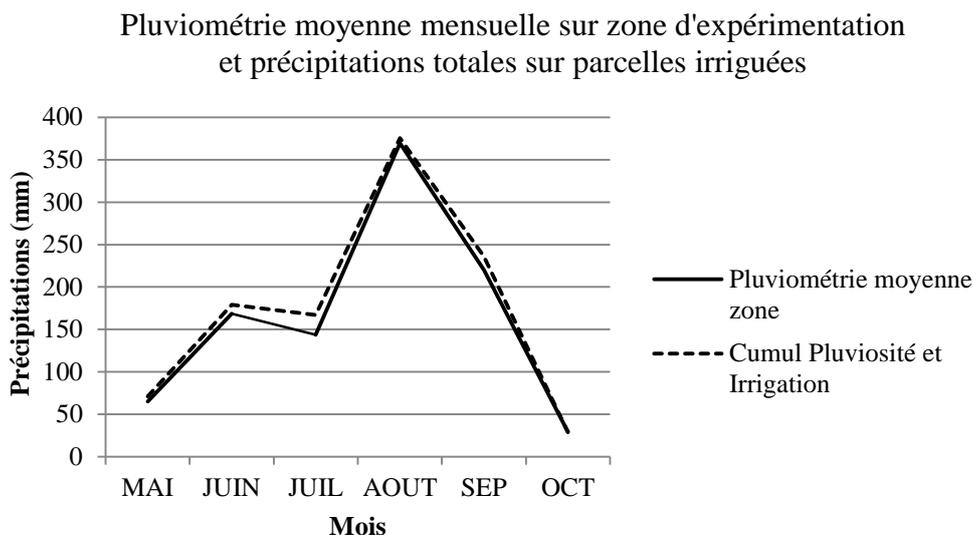


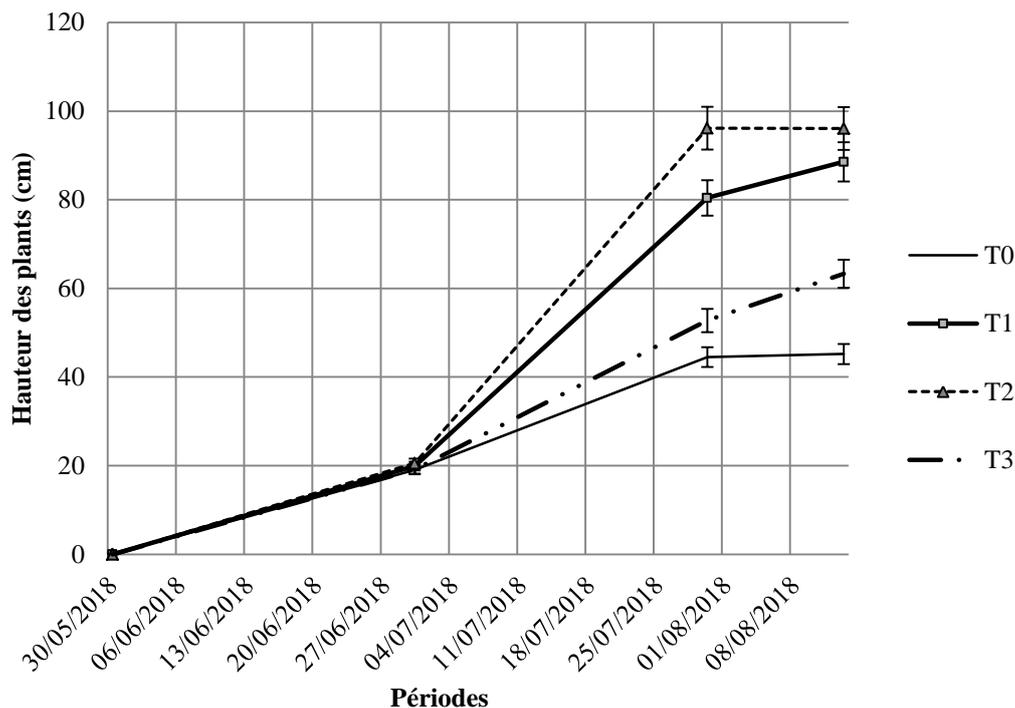
Figure 29 : Pluviométrie moyenne mensuelle sur zone d'expérimentation par rapport à précipitations totales sur parcelles irriguées

7-1-2- Croissance végétative

7-1-2-1- Evolution végétative du semis jusqu'au 73^{ème} jour après semis

Les courbes de relevés mensuels de croissance végétative (figure 30) montrent une disparité entre les traitements à partir du 30^{ème} jour après la levée des cotonniers. La courbe correspondant au traitement innovant (T2) domine celles des autres.

En suivant les traitements, la taille moyenne des plants varie significativement. Les résultats ont été de $96,08 \pm 1,78$; $88,58 \pm 1,78$; $63,28 \pm 1,78$ et $45,19 \pm 1,78$ cm par plant, respectivement pour l'innovation, le témoin de référence (T1), la parcelle uniquement irriguée (T3) et le témoin non traité (T0). Il ressort que la moyenne au niveau de l'innovation a été significativement supérieure à celles des autres traitements ($p < 0,05$). En comparaison à la pratique actuelle, l'apport de l'irrigation d'appoint a permis de relever de façon significative ($p < 0,05$), la moyenne de $88,58 \pm 1,78$ à $96,08 \pm 1,78$ cm par plant, soit une augmentation de 8,5 %. L'irrigation d'appoint n'occulte pas la nécessité des traitements phytosanitaires. En effet, les parcelles sous innovation ont eu une moyenne supérieure à celles des parcelles irriguées sans traitement agro-pharmaceutique ($63,28 \pm 1,78$) de 51,8 %, et ce relèvement est hautement significatif ($p < 0,01$). De même, le témoin non traité a affiché une moyenne significativement inférieure à celle de l'objet irrigué sans traitement agro-pharmaceutique ($p < 0,01$) (voir Annexes).



T2 = Innovation, T1 = Témoin de référence, T3 = Objet uniquement irrigué, T0 = Témoin non traité
Figure 30 : Tailles moyennes des plants du semis jusqu'au 73ème jour après semis

La répétition 1, affiche une moyenne de $83,80 \pm 1,54$ cm, significativement supérieure de 20,96 % à celle de la répétition 3 ($p < 0,01$). Les répétitions 2 et 3 ont des résultats similaires ($p = 0,2498$).

7-1-3- Formation des capsules

En suivant les traitements, les nombres moyens de capsules par plant varie significativement. Les résultats ont été de $26,39 \pm 0,81$; $23,11 \pm 0,81$; $3,97 \pm 0,81$ et $3,41 \pm 0,81$ capsules par plants, respectivement pour l'innovation, le témoin de référence, le témoin non traité et l'objet uniquement irrigué. Il ressort que la moyenne au niveau de l'innovation est significativement supérieure à celles des autres traitements ($p < 0,05$). En comparaison à la pratique actuelle, l'apport de l'irrigation d'appoint a permis de relever la moyenne de la pratique actuelle (témoin de référence) de $23,11 \pm 0,81$ à $26,39 \pm 0,81$ capsules par plants. Cette augmentation de 14,19 % par rapport au témoin de référence est significative ($p < 0,05$). L'irrigation d'appoint ne saurait occulter la nécessité des traitements phytosanitaires.

En effet, les parcelles sous innovation ont une moyenne supérieure à celles des parcelles irriguées sans traitements ($3,41 \pm 0,81$) de 675,9 %, et ce relèvement est hautement significatif ($p < 0,01$). De même, les parcelles du témoin non traitées affichent les résultats similaires à celles de parcelles irriguées sans traitements ($p = 0,6258$) (Annexes).

7-1-4- Nombre de loges par capsules

En suivant les traitements, les nombres moyens de loges par capsule varie significativement. Les résultats ont été de $4,67 \pm 0,11$; $4,67 \pm 0,11$; $4,33 \pm 0,11$; et $4,33 \pm 0,11$ loges par capsule, respectivement pour le témoin de référence, l'innovation, le témoin non traité et le l'objet uniquement irrigué. La moyenne au niveau de la pratique actuelle a été significativement supérieure à celle des parcelles uniquement irriguées ($p < 0,05$). En comparaison à la pratique actuelle, l'apport de l'irrigation d'appoint n'a pas permis de relever la moyenne du nombre de loges par capsule. Il ressort que les traitements agro-pharmaceutiques ont conduit à l'augmentation du nombre de loges par capsule.

Les parcelles d'innovation (irriguées et traitées avec des produits agro-pharmaceutiques) ($4,67 \pm 0,11$) ont affiché des résultats similaires à ceux des parcelles de pratique actuelle ($p \geq 0,99$). En effet, le témoin de référence a eu une moyenne ($4,67 \pm 0,11$) supérieure à celle des parcelles uniquement irriguées ($4,33 \pm 0,11$) de 7,3 %, et cet écart est significatif ($p < 0,05$). De même, les parcelles non irriguées et non traitées avec des produits agro-pharmaceutiques, ont affiché un résultat ($4,33 \pm 0,11$) sans différence significative avec celle des parcelles uniquement irriguées (Annexes).

7-1-5- Attaques parasitaires des capsules

7-1-5-1- Niveau d'infestation

Lors des contrôles hebdomadaires, la présence de plusieurs ravageurs a été notée. Au total, des individus appartenant à 7 espèces de ravageurs sur les 13 généralement mentionnées (PRPICA-2017) soit 54 %, ont été répertoriés sur la parcelle d'expérimentation. En revanche dans toutes les parcelles expérimentales aucune maladie n'a été observée du semis à la récolte (Tableau 32).

Tableau 32 : Récapitulatifs des ravageurs et maladies par traitement de l'expérimentation

	Parcelles non traitées	Parcelles de référence	Parcelles Innovantes	Parcelles uniquement irriguées
Lépidoptères				
Phyllophage (<i>Haritalodes derogat</i>)	***			**
Endocapique (<i>Pectinophora gossypiella</i>)				**
Exocapiques <i>Helicoverpa armigera</i>	**	*	*	**
<hr/>				
Acarien piqueur-suceur (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)				**
Jasside piqueur-suceur (<i>Jacobiella spp</i>)		*	**	***
Aleurodes piqueur-suceurs (<i>Bemisia tabaci</i>)		*		
Punaise piqueur-suceur (<i>Dysdercus vólkeri</i>)		*		
<hr/>				
Autres ravageurs- (Criquets)	***			
<hr/>				
Fusariose (<i>Fusarium oxysporum</i>)	nd	nd	nd	nd
Fonte de semis (<i>Pythium spp</i>)	nd	nd	nd	nd
Virescence florale	nd	nd	nd	nd

Estimation de présence ou trace relevée par contrôle : *moins de 3, **entre 3 à 5, ***plus de 5 /nd : non observé

7-1-5-2- Analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) au 92^{ème} jours après semis

En suivant les traitements, le pourcentage de capsules attaquées par plant varie significativement. Les résultats ont été de $4,6 \pm 2,2$ % ; $13,0 \pm 2,2$ % ; $27,8 \pm 2,2$ % et $33,3 \pm 2,2$ % de capsules attaquées par plant, respectivement pour la pratique actuelle, l'innovation, le traitement uniquement sous irrigation et le témoin non traité. Il ressort que la moyenne au niveau de la pratique actuelle est significativement inférieure à celle de l'innovation ($p < 0,01$). Par contre, il n'y a pas de différence significative entre les moyennes du témoin non traité et du traitement uniquement sous irrigation (Annexes).

7-1-6- Densité de plantation

Le suivi de la densité de plantation a fourni les résultats suivants. Ce sont respectivement pour l'innovation, la pratique actuelle, le traitement uniquement sous irrigation et le témoin non traité, $67593,00 \pm 1260,78$; $53934,56 \pm 1260,78$; $34895,56 \pm 1260,78$ et $20139 \pm 1260,78$. Il est apparu une variation hautement significative entre les traitements ($p < 0,01$). Les parcelles innovantes ont présenté une moyenne de plants par hectare supérieure de 25,3 % à celle des parcelles de la pratique courante ($p < 0,01$). De même, les parcelles uniquement sous irrigation, ont enregistré une moyenne de 73,3 % supérieure à celle des témoins non traité ($p < 0,01$). En outre, les résultats de la pratique courante ont été de 54,6 % supérieurs à ceux des parcelles uniquement sous irrigation ($p < 0,01$).

L'irrigation d'appoint contribue à réduire les pertes de plants (Annexes). En outre, l'innovation, avec un stand de 81,11 %, a enregistré 6,76 plants/m² (Tableau 33).

Tableau 33 : Pourcentage de Densité moyenne de plants par ha à la récolte (Stand)

Traitement	Nombre de plants/ha	% / Densité de plantation
T0	20 139	24,2
T1	53 934,56	64,7
T2	67 593	81,1
T3	34 895,56	41,9
Densité au semis	83 333	100

7-1-7- Poids moyen capsulaire

L'analyse par rapport au poids moyen capsulaire, a fait ressortir une différence hautement significative entre les traitements. Les résultats ont été respectivement de $5,4 \pm 0,0614$; $4,0 \pm 0,0614$; $2,9 \pm 0,0614$ et $2,6 \pm 0,0614$ g/capsule pour l'innovation, la pratique actuelle, le traitement uniquement sous irrigation et le témoin non traité. L'innovation présente une moyenne supérieure de 35 % à celle du témoin de référence ($p < 0,01$). Parallèlement, le traitement uniquement sous irrigation a enregistré une moyenne supérieure de 11,5 % à celle du témoin non traité ($p < 0,01$). Il apparaît ainsi que l'appoint d'eau a permis d'améliorer le poids moyen des capsules. De même, la pratique actuelle a obtenu une moyenne supérieure de 53,8 % à celle du témoin non traité ($p < 0,01$) quand l'innovation s'est situé à 86,2 % au-dessus du traitement uniquement sous irrigation ($p < 0,01$) (Annexes).

7-1-8- Rendement en coton graine

L'analyse statistique par rapport au rendement en coton graine a fait apparaître une différence significative entre les traitements. Les résultats ont été respectivement de $2657,77 \pm 67,86$; $1616,26 \pm 67,86$; $226,51 \pm 67,86$ et $180,67 \pm 67,86$ kg/ha pour l'innovation, la pratique actuelle, le traitement uniquement sous irrigation et le témoin non traité. L'innovation a enregistré une moyenne supérieure de 64,4 % à celle de la pratique actuelle ($p < 0,01$). De même, la pratique actuelle a obtenu une moyenne supérieure de 613,5 % à celle traitement uniquement sous irrigation. Par contre, il n'y a eu pas de différence significative entre le traitement uniquement sous irrigation et le témoin non traité (Annexes). En outre, toutes les parcelles de ces deux derniers traitements étaient enherbées lors de la récolte.

7-2- Au niveau financier et économique

L'analyse financière s'articule autour de la détermination des charges courantes d'une exploitation agricole de coton afin d'observer les revenus nets par traitement (Innovation, pratique actuelle, traitement uniquement sous irrigation et témoin non traité) ayant fait l'objet d'expérimentation. L'analyse économique elle s'intéresse au coût d'opportunité de ces expérimentations, permettant ainsi d'apprécier l'impact globale de l'innovation sur les populations. Cette analyse s'inscrit dans le contexte d'approvisionnement des agriculteurs en intrants agricoles par la société cotonnière en charge de l'encadrement et l'achat de la production de coton graine.

7-2-1- Du point de vue financier

L'analyse financière requiert l'établissement du compte d'exploitation par traitement. Cela aboutira à la production des marges nettes d'exploitation, permettant ainsi de voir le traitement le plus rentable. Les paramètres à estimer dans ce cas sont présentés dans le tableau 34. Stessens (2002), a évalué à 104 et 133 (tableau 35) le nombre de jours de travail attribué à l'exploitant agricole, respectivement pour les cultures attelée et manuelle de coton. Toutefois, bien qu'un usage ait été fait d'attelage dans la mise en place des parcelles expérimentales, pour les besoins de notre analyse le nombre de jour de travail pour le chef d'exploitation sous l'innovation a été estimé à 111 jours, cela, eu égard au suivi du dispositif pluviométrique (7 épisodes d'arrosage). En outre, tenant compte de l'absence d'entretien, ce nombre de jour est estimé respectivement à 85 et 92 jours pour la parcelle non traité et le témoin de référence.

Tableau 34 : Paramètres financiers pour budget d'exploitation

Paramètres	Définitions
Valeur Produit Totale (VPT)	Résulte de la quantité totale produite (Q) multipliée par le prix de vente (P)
Coûts Variables Totaux (CVT)	Coûts des intrants (fertilisants, insecticides et herbicides) variant en fonction du traitement évalués en FCFA/ha.
Coûts Fixes Totaux (CFT)	Charges non variables (essentiellement de l'amortissement du matériel)
Marge Brute (MB)	Différence entre VPT et CVT
Marge Nette (MN)	Différence entre MB et CFT.
Affectations	Main d'œuvre, transport et coût financiers
Revenu net agricole annuel (RAA)	Le revenu agricole annuel pour la superficie totale cultivée (FCFA)
NJT	Nombre de jour de travail du chef d'exploitation par ha
Valeur ajoutée Nette (VAN)	Rapport entre RAA et NJT

Source : Stessens, 2002 ; Diarrassouba et *al.*, 2014

Tableau 35 : Temps de travail maximal de différentes opérations (jours/ha)

Opération	Jours/ha				
	Parcelles non traitées	Parcelles irriguées uniquement	Parcelles de référence	Parcelles Innovantes	Parcelle en culture manuelle
Préparation	13	13	13	13	13
Semences	12	12	12	12	12
Entretien	0	0	28	28	48
Irrigation	0	7	0	7	0
Récolte	54	54	48	48	54
Autres	6	6	3	3	6
Total	85	92	104	111	133

Source : Adapté de Stessens, 2002

Les charges variables, fixes et prix de la campagne 2018-2019, sont répertoriés respectivement dans les tableaux 36, 37 et 38. Ces valeurs ont été rapportées à l'hectare pour tenir compte des rendements des parcelles exprimés en kg/ha.

Tableau 36 : Charges financières des produits agro-pharmaceutiques, campagne 2018-2019

Type	Matières actives	Dose (L/ha)	PU FCFA	Coût /Ha
Herbicide total	Glyphosate 360 g/L	3	2 475	7 425
Herbicide sélectif	Propaquizafop 100 g/L	0,8	6 800	5 440
Insecticide F1	Emamectin 48 g/L + Acétamiprid 64 g/L	0,25	19 200	14 400
Insecticide F2	Cyperméthrine 36 g/L + Profenophos 300 g/L	0,5	4 750	4 750
Insecticide*	Indoxacarbe 240 g/L + Novaluron 80 g/L	0,2	2 5000	5 000
Insecticide F3	Acetamiprid 16 g/L + Cyperméthrine 72 g/L	0,5	4 660	4 660
Régulateur de croissance	Mepiquat chlorure 50 g/L	1	2 995	2 995
Urée	46%	65	242	15 730
NPKSB	15 15 15 6 1	200	253	50 600

Source : Coulibaly (2019) ; *Données de l'étude

Tableau 37 : Charges financières des fertilisants et matériels, campagne 2018-2019

Type	Paramètres	Unité/ha	PU FCFA	Coût /Ha
Pulvérisateur à dos 16 litres	5 ans amortissement	0,2	31 290	6 258
Pulvérisateur à disque rotatif	5 ans amortissement	0,2	36 305	7 261
Outillage et amortissement du matériel de culture attelée ²	Charge annuelle	1	28 786	28 786
Dispositif d'irrigation (y compris cuve stockage 3x1000 li et pompe solaire)	6 ans amortissement	0,16	980 000	156 800
Forage à 35 m de profondeur équipé de pompe (déserte de 20 ha en irrigation d'appoint)*	10 ans, pour 20 ha amortissement	0,05	1 000 000	50 000

Source : Coulibaly (2019) ; ²Rapport de l'étude pour l'élaboration de la stratégie sectorielle coton ; *Données de l'étude

Tableau 38 : Paramètres financier du prix d'achat de coton graine campagne 2018-2019

Libellés	Montant en F CFA/Kg
Prix Achat bord champ 2018 1 ^{er} choix ²	265
Prix Achat bord champ 2018 2 ^{ème} choix ²	245
Prélèvement FIRCA	3,95
Prélèvements Intercoton	1,75
Production semence	3
Entretien piste	1,2
CCA /ACE (fonctionnement, traçabilité et pesage)	2,21
Ristourne	6,3

Source : Coulibaly (2019) ; ²Intercoton (2019)

Les charges d'exploitation, conduisent à l'élaboration d'un compte d'exploitation sur la base des rendements moyens obtenus suite à l'expérimentation (voir Annexes). Les revenus nets sont respectivement de 340289, 221656, -152953 et 95 FCFA/ha, pour l'innovation, la pratique actuelle, le traitement uniquement sous irrigation et le témoin non traité. Avec une marge nette supérieure de 53,5 % à celle de de la pratique actuelle, l'innovation est la parcelle la plus rentable. En outre, les charges du dispositif d'arrosage sont couvertes par la production supplémentaire de coton graine.

7-2-2- Les ratios économiques

Le rapport (Rc) des coûts variables sur la valeur de la production totale (CVT/VPT) et le rapport (Iv) de la marge brute au coût variable (MB/CVT), sont les deux ratios qui ont été utilisés pour cette analyse. Rc détermine la pression relative des charges variables sur les productions des différents traitements, quand Iv définit l'apport de 1 FCFA investi dans la production pour un traitement donnée. Pour ce faire, les affectations ont été réintroduites en charge variable. Cela a permis d'obtenir les valeurs contenues dans le tableau 39.

Tableau 39 : Détermination des ratios

Ratios	Campagne 2018 – 2019			
	Parcelles non traitées	Parcelles irriguées uniquement	Parcelles de référence	Parcelles Innovantes
Rc (MB/CVT)	0,00	0,24	1,28	2,75
Iv (CVT/VPT)	1,0	0,8	0,4	0,3

La lecture des ratios Iv, indique que pour générer 100 FCFA de valeur de production, l'investissement de l'exploitant, en coût variable a été de 100 FCFA pour la parcelle non traitée, 80 FCFA pour la parcelle uniquement sous irrigation, 40 FCFA pour la pratique courante (T1) contre 30 FCFA l'innovation (T2).

Parallèlement, les ratios Rc ont établi que pour 100 FCFA de charge variable investi par traitement, l'exploitant a reçu 0 FCFA pour la parcelle non traitée, 24 FCFA pour la parcelle uniquement sous irrigation, 128 FCFA pour la pratique courante contre 275 FCFA pour l'innovation.

En outre, une simulation de perte de récolte a été établie en considérant l'utilisation de 8 traitements insecticides comme une protection poussée par rapport aux 6 traitements actuellement vulgarisés (PR-PICA, 2018). Dès lors, le rendement moyen en coton graine de 910 kg/ha obtenu dans la zone de IVOIRE COTON (Intercoton, 2019), qui englobe le site de la présente expérimentation, a été utilisé comme valeur de rendement du programme vulgarisé (PV). Ainsi estimé, à partir de données de la campagne 2018, le taux de 7 % (Tableau 40) montre que l'innovation a permis de réduire les pertes de récolte par rapport au témoins de référence qui a enregistré 11 %. Ces valeurs ont été supérieures à celles du programme vulgarisé, estimée à 20 % de perte de récolte.

Tableau 40 : Simulation de perte de récolte et efficacité de traitement

Paramètres	PP T1 ²	PP T2 ²
L _{pp} (%)	11	7
L _{pv} (%)	20	20

*:T2 : innovation, T1 : pratique de production actuelle

²:PV (910 kg/ha, rendement moyen en coton graine, zone Ivoire Coton, 2018) et (formule (7) à (8) – chapitre 3).

Aussi, les innovations qui permettent d'améliorer la productivité contribuent-elles au renforcement de cette compétitivité. De fait, la présente innovation a un double coût d'opportunité. Il s'agit d'une part de la réduction des pertes de récolte à 7 % contre une moyenne annuelle ivoirienne supérieure à 20 % depuis 2014 (PR-PICA, 2019) et d'autre part du gain en d'efficience d'utilisation de l'eau (Tableau 41).

En effet, par utilisation d'un coefficient pondéré (24 %, (Carluer et *al.*, 2010)) de perte d'eau de pluie par ruissellement et percolation profonde, l'efficience d'utilisation de l'eau obtenue pour l'innovation a été de 0,4 kg/m³, supérieure à celle du témoin de référence (0,2 kg/m³). Ainsi, l'irrigation d'appoint ne peut, à elle seule, permettre aux plantes d'arriver à maturité ; toutefois, elle complète les précipitations (Laere, 2003). Dès lors, il apparaît de cette analyse, que l'irrigation d'appoint est économiquement viable. En outre, le calcul du prix de parité bord champ à l'importation intégrant le coût de la graine devrait permettre de mieux percevoir l'impact économique de l'introduction de ce système dans les itinéraires techniques du coton en Côte d'Ivoire.

Tableau 41 : Estimation des efficacités d'utilisation de l'eau (EUE) par traitement

	Parcelles non traitées	Parcelles uniquement irriguées	Parcelles de référence	Parcelles Innovantes	※:
Rendement moyen (Kg/ha)	180,7	226,6	1 616,3	2 657,8	Calcul
EUE _p (kg/m ³) [*]	0,02		0,2		ul
EUE _{ip} (kg/m ³) [*]		0,03		0,4	effect
Pluie utile Juin à Septembre (m ³ /ha) ²	7 119	7 119	7 119	7 119	ué à
Pluviométrie Juin à Septembre (m ³ /ha)	9367	9367	9367	9367	partir
Irrigation d'appoint (m ³ /ha)	0	245	0	245	des
					form

ules (2) et (4) du chapitre 3 ; ²:Moyenne de perte par ruissèlement et percolation profonde sols sablonneux (30 %), limoneux (12,5 %) , argilo-limoneux (0 %) (Carluer *et al.*, 2010).

En effet la hausse significative du rendement améliore la compétitivité aussi bien des producteurs que des unités d'égrenage. Ces derniers vendent les graines afin d'absorber certains coûts liés au transport (Ducroquet *et al.*, 2017). A niveau égal d'intrant, l'innovation a apporté 64,4 % de coton graine supplémentaires. En somme, cela pourrait contribuer à accroître le plan de charge des unités de première transformation, améliorant ainsi la rentabilité des sociétés cotonnières.

Chapitre 8: Discussion

8-1- Irrigation et conditions ambiantes

8-1-1- Irrigation

La pluviométrie de 996 mm, enregistré sur la zone du site expérimental est suffisante pour le cycle du cotonnier. Les besoins variant entre 500 (Dekoula et *al.*, 2018) et 700 mm (Konan et *al.*, 2015) suivant les zones et les conditions climatiques. Ainsi, l'enregistrement des précipitations sur le site expérimental, a permis d'identifier des poches de stress hydrique conduisant à 7 jours d'irrigation. De même, des épisodes de sécheresse, ont été signalés au Burkina Faso en 2018, dans l'ensemble des trois zones de production cotonnière avec une durée moyenne variant de 14 à 21 jours (PR-PICA, 2019). Parallèlement, en Côte d'Ivoire, une baisse sensible de pluviométrie a été enregistrée en juin et juillet 2018 (Intercoton, 2019), surtout en zone médiane (figure 1 en Annexes). En effet, le nombre moyen de jour de pluie par mois est de 8 pour juin et juillet 2018, soit 16 jours de pluie sur une période de 61 jours (PR-PICA, 2018 ; PR-PICA, 2018). Cette tendance déjà observée en 2016 et 2017, semble se confirmer, matérialisant ainsi une inversion de pôle pluviométrique sur la bande cotonnière ivoirienne.

En effet, ces données montrent que la zone dénommée « humide » s'est montrée moins pluvieuse sur ces trois dernières années que celle qualifiée de « sèche ». Il en ressort que le facteur limitant est ici la réserve en eau du sol entre deux pluies. La valeur de cette réserve est estimée à partir des caractéristiques du sol et du couvert végétal. Selon ARDOIN (2000), les hydrologues ont défini un déficit d'eau à partir de valeurs d'évapotranspiration. Ce déficit est appelé déficit agricole par les agronomes car il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait dû être utilisée par les plantes et le sol si les disponibilités en eau avaient pu artificiellement être complétées par un système d'irrigation. Ainsi, sur la base d'une évapotranspiration journalière de 4 mm (Dekalou et *al.*, 2018), l'appoint d'eau effectué lors de l'expérimentation, a eu un effet significatif sur la croissance et la production de coton graine. De fait, l'étude de futurs scénarii climatiques, montre que les meilleures améliorations en production cotonnières sont obtenues par apport d'un supplément d'eau (Luo, 2015). Une bonne estimation de la capacité en eau du sol et du système sol, plante et atmosphère, est essentielle dans la détermination et la gestion optimale des quantités d'eau disponible (Shelia et *al.*, 2018).

En effet, Le cotonnier a besoin d'une bonne répartition des quantités de pluies durant les différentes phases phénologiques qui sont des périodes critiques (Cretenet et *al.*, 2002). Comme l'ont indiqué Yang et *al.* (2015), la croissance, les critères d'utilisation de l'eau et le rendement du cotonnier varie en fonction du régime d'irrigation. Ainsi, les plantes sont plus efficaces avec l'eau lorsqu'elles sont stressées (Zwart et Bastiaanssen, 2004). L'existence d'un large éventail d'efficience d'utilisation de l'eau (EUE), suggère que la production agricole peut être maintenue avec 20 à 40 % de ressources en eau en moins, à condition que de nouvelles pratiques de gestion de l'eau soient adoptées (Zwart et Bastiaanssen, 2004). Aussi, le recours à l'irrigation d'appoint se caractérise-t-il comme un apport d'eau bleue aux plantes en cas de baisse de la pluviosité (Thivet et Blinda, 2008), les précipitations demeurant la principale source de ravitaillement en eau des plantes (Thivet et Blinda, 2008). A ce niveau, au Moyen-Orient l'usage de l'irrigation complémentaire, a conduit à la fois à l'amélioration substantielle des rendements et à la sécurisation de la récolte et du revenu des agriculteurs (Thivet et Blinda, 2008). Par exemple, pour le blé produit en Syrie, le rendement suite à une irrigation de complément, peut atteindre 3 t/ha soit environ 2,5 fois celui en conditions pluviales (Thivet et Blinda, 2008). Ainsi, L'effet de l'irrigation d'appoint est maximal lorsqu'elle est pratiquée à un stade critique du développement de la culture (floraison, maturation) (Laere, 2003). Toutefois, dans les conditions africaines de production du coton, l'irrigation combinée à l'application des produits agro-pharmaceutiques n'apparaît pas facilement réalisable (Silvie et Fok, 2016). C'est pour cette raison qu'il est primordial de mettre en place un calendrier d'irrigation efficient, conduisant à des économies en eau, et pour cela il faut passer de la vision de rendement maximal à celle de rendement optimal (Thivet et Blinda, 2008). Aussi, cela nécessite-t-il des méthodes appropriées de mesure et d'évaluation de l'efficacité avec laquelle l'eau extraite d'une source est utilisée pour produire le rendement des cultures (Irmak et *al.*, 2011). En effet, 1m³ d'eau d'irrigation d'appoint a une productivité plus élevée que celle d'une irrigation conventionnelle qui utilise 7 fois plus d'eau (Thivet et Blinda, 2008).

8-1-2- Conditions ambiantes

En plus de son action contre le stress hydrique ponctuel, l'appoint d'eau semble favoriser d'autres phénomènes. En cause, l'évaporation, une humidité minimale et l'insolation, qui sont les plus déterminants facteurs climatiques avant, pendant et après la période de production et de rétention des capsules (Sawan, 2018). Ainsi, l'augmentation du niveau des températures cumulées a un impact sur les différentes phases de développement (Huang, et *al.*, 2015).

D'ailleurs, une corrélation positive a été identifiée entre la température moyenne et la durée de la période de croissance (Wang et *al.*, 2017). En outre, tandis que la corrélation avec l'humidité relative minimale était positive, une corrélation négative a été trouvée entre la production de fleurs et de capsule et soit l'évaporation ou encore l'insolation (Sawan, 2018). Sous un autre aspect, pour Chandani et Sathe (2015), les perturbations climatiques, caractérisées par des pluies à faible intensité et de faibles valeurs d'humidité relative, seraient favorables au développement de certains insectes en plantation. En fonction de tout ce qui précède, se rapportant à la zone d'étude, l'apport d'eau par irrigation d'appoint sur le coton semble se justifier. Produire du coton requiert une bonne répartition des pluies durant les phases critiques de croissance. Selon Yang et *al.* (2014), la croissance, les paramètres d'utilisation de l'eau et le rendement varient avec le régime des précipitations.

8-2- Densité de plantation

La densité de plantation affecte significativement aussi bien la morphologie des feuilles que les caractéristiques photosynthétiques du feuillage (Yao et *al.*, 2016). **A ce niveau**, le stand, pourcentage de plants présents au moment de la récolte par rapport au semis, de 64,72% chez le témoin de référence, est similaire aux résultats de Konan et *al.* (2015). De même, les meilleurs résultats de Khan et *al.* (2019) ont été atteints à une densité de 6 plants/ m², comparable au résultat de l'innovation (6,7 plants/m²). Ainsi, sous les mêmes conditions de labour et de fertilisation, le nombre de capsule augmente avec la densité de plantation (Zhi et *al.*, 2016) favorisant ainsi la production. En revanche, un faible taux de germination et les précoces fontes de semis entraînent souvent la faiblesse des densités de plantation (Jones et Wells, 1998), sans pour autant mettre à mal la croissance des plants.

8-3- Croissance

Les plants de l'innovation ont atteint une taille moyenne de 96,08 cm au 73^{ème} jour après semis, contre 88,58 cm pour le témoin de référence. En effet, les meilleures croissances et nombre de capsules obtenus sur des parcelles irriguées, ont montré que l'insuffisance de l'approvisionnement en eau réduisait la taille des feuilles et la photosynthèse journalière et saisonnière du feuillage (Peng et *al.*, 1989). Aussi, l'irrigation contribue-t-elle à accélérer la croissance de la plante ; la hauteur de plant recherchée, variant entre 1m et 1,50 m (Konan et *al.*, 2015), taille qu'une fertilisation optimale peut contribuer à atteindre.

A ce niveau, Khan et *al.* (2019) ont observé que la densité de plantation pour le cotonnier a un impact significatif sur la hauteur des plants, parce que la densité, l'humidité et la température créent un microenvironnement unique.

8-4- Fertilisation

Les fertilisants contribuent aussi bien à la croissance qu'à l'amélioration de la production de capsules. En effet, le taux de photosynthèse net baisse en cas de non apport de potassium (K) (Ahmad et *al.*, 2017). De même, l'expérimentation a montré qu'à niveau égal de fertilisation, les plantes sous irrigation d'appoint présentent de meilleures performances en croissance et en stand. En outre, selon Wang et *al.*, (2019), la sécheresse entraîne une réduction significative de la croissance du cotonnier et de l'utilisation efficiente de K, réduisant ainsi l'effet du fertilisant potassique. Ainsi, la biodisponibilité de K décroît en situation de stress hydrique (Wang et *al.*, 2019). De fait, K joue un rôle prépondérant en matière de résistance de la culture à la sécheresse, la salinité, la forte luminosité ou le froid, de même que dans la résistance aux ravageurs et maladies (Zörb, et *al.*, 2014). Aussi, Pour les cultures déficientes en K, l'approvisionnement des organes cible en produits issus de la photosynthèse n'est-elle plus assuré et le sucre s'accumule dans les feuilles sources (Zörb et *al.*, 2014).

En conséquence, cela affecte non seulement la formation du rendement mais également les paramètres de qualité (Zörb et *al.*, 2014). De même en cas d'insuffisance du Bore (B), les cotonniers prennent un aspect buissonnant, conséquence à la fois du raccourcissement des entre-nœuds et de la nécrose des méristèmes (Braud et *al.*, 1969). Dès lors, il apparaît nettement que l'apport d'eau améliore l'efficacité nutritive des éléments minéraux. En effet, le plus haut niveau d'efficacité d'utilisation de l'azote a été atteint avec les traitements sans stress hydrique (Mahmood et *al.*, 2016). Dans cette optique, Traoré et *al.* (2017), ont établi qu'à niveau de fertilisation identique, une année climatique favorable (bonne pluviosité) a un impact positif et significatif sur le rendement par rapport à une année climatique moyenne (faible pluviosité). En définitive, en situation de stress hydrique, la fertilisation ne peut être optimale, or Gerik et *al.* (1989), ont signalé que le manque d'azote chez le cotonnier, réduisait la surface du feuillage, le nombre et poids moyen capsulaire.

8-5- Nombre moyen de capsules par plant et densité de plantation

Le nombre de capsules par plant a été respectivement de $26,39 \pm 0,81$ et $23,11 \pm 0,81$ pour l'innovation et la pratique actuelle, contre $3,97 \pm 0,81$ pour le témoin non traité.

En effet, le nombre moyen de capsules par plant sur cotonnier saint, *Gossypium hirsutum*, varie de 23,3 à 32 (Cauquil et Roch, 1964). Ainsi, l'absence de protection entraîne une réduction du nombre des capsules arrivant à maturité de même que leur poids moyen (Vaissayre, 1982). A la récolte, l'innovation et la pratique actuelle ont des densités respectives de $67593,00 \pm 1260,78$ et $53934,56 \pm 1260,78$ plants par ha. Le nombre de capsules est positivement corrélé à la densité comme ont conclu par Zhi et al. (2016). Lorsque le sol n'est pas directement exposé à la lumière du soleil, l'humidité y reste plus longtemps avec moins de compétition pour l'eau, entre les cotonniers et les mauvaises herbes. Toutefois, la densité ne peut être accrue au-delà d'une certaine limite, parce que le rendement par capsule décroît avec l'augmentation de la densité de plants (Zhi et al., 2016). En outre, plus le cotonnier est haut plus il produit de nœud, donc plus de branches sur la tige principale, par conséquent plus de capsules apparaissent (Bednarz et al., 2000). Au 73^{ème} jour, l'innovation produit la taille la plus élevée en comparaison avec la pratique actuelle pour $96,08 \pm 1,78$ et $88,58 \pm 1,78$ cm, respectivement. Un gain en taille de 8,5% au 73^{ème} jour, conduit à 14,19 % d'amélioration du nombre de capsules par plant. De plus, en dehors d'une baisse de la qualité générale de la fibre sous stress hydrique, le nombre de capsules par ha a été le principal facteur d'induction de perte de récolte, selon Hu et al. (2018). Aussi, le rendement en coton dépend-il d'une bonne densité, de la température ambiante du sol, de la pression parasitaire et des conditions de pluviosité, lorsque la qualité de la semence est garantie (FAO, 2018). Dès lors, Une faible densité de plantation conduit à une meilleure assimilation photosynthétique, la densité optimale étant supérieure à 3, mais inférieure à 22 plants par m² au champ (Bednarz et al., 2005). L'innovation de l'expérimentation, a enregistré 6,76 plants/m². Khan et al. (2019) ont obtenu les meilleurs résultats à 6 plants par m², quand la faible densité (3 plants par m²) et la forte (9 plants par m²) n'ont pas été satisfaisants. Auparavant, Yang et al. (2014) avait montré que 3 plants par m² pourraient être la meilleure densité si le champ est un espace contrôlé tel qu'une serre. Ainsi, les écarts de rendement observés peuvent en partie s'expliqués par la combinaison des situations de stress hydrique et leur impact sur l'assimilation des éléments dans les parcelles n'ayant pas reçu d'irrigation d'appoint. En effet, les dysfonctionnements physiologiques dus au stress hydrique contribuent respectivement à hauteur de 7 à 35 % et 42 à 64 % aux chutes de fleurs non ouvertes et des capsules (Tariq et al., 2017). A ce niveau, d'autres facteurs tels que la pression des ravageurs peuvent également entraîner des abscissions, mais celle-ci n'a pas été observée dans les conditions expérimentales. Toujours au sujet des ennemis, l'innovation n'a pas engendré l'émergence de fontes de semis qui pourrait aurait pu réduire significativement la densité et par conséquent la production.

8-6- Rendement

Suivant l'expérimentation, en esquivant le stress hydrique grâce à un appoint d'eau pendant le cycle du cotonnier, et avec des mesures efficaces de protections phytosanitaires couplées à une bonne fertilisation, les agriculteurs du nord de la Côte d'Ivoire pourraient produire plus de 2,5 tonnes de coton graine par hectare, selon les résultats de l'innovation. Par rapport aux variétés vulgarisées par le CNRA (2006), dont les rendements étaient compris entre 1826 et 1984 kg/ha, en raison de précipitations insuffisantes et incertaines, la présente expérimentation a produit $1616,26 \pm 67,86$ kg/ha sur base de pratiques culturales courantes. Par contre, il n'y a pas de différence significative entre le traitement uniquement sous irrigation et les parcelles sans intrants agro-pharmaceutique n'ayant pas produit plus de 227 kg/ha de coton graine. Ces résultats démontrent que l'irrigation d'appoint associée au traitement agro-pharmaceutiques, contribue l'amélioration du rendement en coton graine (Bednarz et al., 2005; Zhi et al., 2016). En effet, le contrôle des ravageurs est essentiel en production cotonnière (Tabashnik et al., 2002; Zhi et al., 2016; FAO, 2018). Ainsi, l'irrigation d'appoint procure un bénéfice substantiel même lorsqu'il s'agit de semences transgéniques (Lakho et al., 2016; FAO, 2018). Vu qu'en condition de stress hydrique, on observe de façon notable une réduction du pourcentage de fibre par graine, le rendement moyen observé est de 1740,71 kg/ha, (Konan et al., 2015). En effet dans des conditions similaires, le témoin de référence a produit en moyen $1616,26 \pm 67,86$ kg/ha. A ce niveau, Singh et al. (2010) ont mentionné que la baisse de rendement de la culture de Coton, sous déficit d'irrigation était corrélée à la diminution aussi bien du nombre de capsules par plant que du poids moyen capsulaire. De fait, la combinaison d'une fertilisation optimale, d'une application de produits agro-pharmaceutiques et de l'irrigation d'appoint par aspersion a permis d'obtenir une amélioration significative du rendement en coton graine dans les conditions expérimentales. Toutefois, l'irrigation localisée (goute à goutte) est d'une plus grande efficacité (Irmak et al., 2011).

En effet, l'irrigation au goutte à goutte a permis de sauver 26,9 % d'eau et d'obtenir une hausse de rendement en coton graine de 43,1 % par rapport à une irrigation standard par aspersion (Singh et al., 2010). Néanmoins, lorsque les températures sont élevées, la fertilisation des ovules est compromise, entraînant la production d'un nombre réduit de graine par capsule, un faible poids capsulaire et donc en définitive une perte de rendement en coton graine (Pettigrew, 2008). Ainsi, sous condition de sécheresse, la baisse de rendement en coton graine fut substantielle (environ 17,5 %) lorsque le niveau d'irrigation a été réduit, passant de 100 % à 70 % d'évapotranspiration (ASABE, 2015).

Dans ce contexte, l'irrigation par aspersion présente l'avantage de pouvoir contribuer à réduire la température des organes fructifères de 2°C, quelques heures après un arrosage de basse fréquence (Saadia et *al.*, 1996). Aussi, le rendement est-il sensible aux conditions d'humidité, une réduction de production significative a été enregistré en condition de terre sèche simulé (Brewer et *al.*, 2016). Il en ressort que l'irrigation conduit à une augmentation du rendement, en comparaison avec une situation de culture en terre aride (McConnell et *al.*, 1995). En effet, en termes d'innovation, la rentabilité des variétés améliorées de coton, chez les petits producteurs de Chine et d'Inde, est souvent associée à une technicité élevée telle que l'usage d'irrigation et de fertilisation (Maurice et *al.*, 2006). Toutefois, pour le champ de coton, l'estimation des besoins en eau est fortement corrélée au rendement aussi bien sur parcelle aride qu'en condition d'irrigation (Boquet et *al.*, 1994). Par conséquent, la source d'eau pour l'irrigation, est, à l'instar des ennemis du cotonnier, un autre défi à surmonter. De fait, en plus de la fertilisation, le contrôle des ravageurs est essentiel en production cotonnière (Zhi et *al.*, 2016; FAO, 2018)

8-7- Ennemis de la culture

8-7-1- Au sujet des ravageurs

Koné et *al.* (2017) note que l'humidité persistante favorise le développement de *Jacobiella facialis* pendant la phase de croissance végétative du cotonnier. *Helicoverpa armigera*, chenille carpophage, peut provoquer d'importantes pertes de rendement (Martin et *al.*, 2005). Plus inquiétant encore, est le fait que cet insecte est en voie de développer une résistance à certains insecticides (Tabashnik et *al.*, 2002; Martin et *al.*, 2005; Koné et *al.*, 2017). La présence de ces deux ravageurs dans les parcelles de l'innovation pourrait expliquer le niveau élevé des attaques de capsules. L'irrigation d'appoint entraîne une augmentation du taux de capsules attaquées par plant. Les capsules étant la source des graine de coton, les plus important producteurs mondiaux de coton, Australie, Brésil et Chine (Michel et *al.*, 2000; FAO, 2018) ont entrepris de lutter contre les carpophages tels que *Helicoverpa armigera*, *Pectinophora gossypiella*, *Cryptophlebia leucotreta* and *Earias vitelli*, par usage de semences de coton transgénique (*Bacillus thuringiensis*) (Tabashnik et *al.*, 2002; Yang et *al.*, 2014; Luo et *al.*, 2015). Les cotonniers dans les parcelles soumises au système d'irrigation d'appoint ont subi plus d'attaques au niveau des capsules, ce qui ne corrobore pas avec les résultats précédents obtenus par certains auteurs selon lesquels en Côte d'Ivoire, l'impact des prédateurs entomologiques semblerait être moins prononcé dans les parcelles irriguées par aspersion (Follin et Goebel, 1973).

En effet, le lessivage des feuilles, entraînerait une partie des pontes et des jeunes chenilles. Sous irrigation, les pertes de rendement sont essentiellement dues à la présence de mauvaises herbes et non aux déprédateurs Deat (1990), dans ce cas, la perte en rendement en coton graine atteint souvent 93,2 % (Ahanchédé, 2000). Mais Ceci ne peut se produire sous les conditions expérimentales, toutes les parcelles étant bien entretenues. Dans le cas présent, il s'agit d'irrigation ponctuelle dont l'irrégularité et le volume d'eau s'apparente à des pluies occasionnelles de faible intensité, mettant les ravageurs dans des conditions presque ordinaires ne pouvant occasionner le lessivage des feuille qui pourrait entrainer les pontes et les chenilles.

Aussi, l'irrigation d'appoint ayant permis la production d'un grand nombre de capsules, l'abondance sous l'innovation, aurait attiré un grand nombre de ravageurs carpophages. En effet, concernant l'innovation, le nombre de capsules par plant et leur poids moyen est significativement supérieur à celui du témoin de référence. La culture du coton est accompagnée toujours d'une protection contre les ravageurs avec des insecticides en absence desquels les dégâts seraient énormes. Ils peuvent atteindre 50 à 70 % de perte de rendement (Mokho et al., 2016 ; Koné et al., 2017). La fertilisation à probablement contribué à la baisse de la pression parasitaires par rapport à la moyenne national (280 kg/ha de NPKSB utilisés pour T1 et T2, contre 200 kg/ha conseillé en milieu paysans). En effet, une augmentation de la dose d'engrais permet à la plante d'acquérir une certaine résistance aux ravageurs (Houndete et al., 2015).

8-7-2- Au niveau des maladies

Les observations hebdomadaires et régulières effectuées du semis à la récolte, pendant campagne 2018, n'ont pas révélé la présence de symptômes de maladies sur le cotonnier, dans les conditions expérimentales. Les raisons peuvent être prêtées au fait qu'une maladie ne s'installe et se développe, que si les trois conditions suivantes, un hôte sensible, la présence d'un pathogène virulent et un environnement favorable sont réunies à la fois. En effet Abo et al. (2005) prélèvent des souches de *Fusarium oxysporum f. sp. Vasinfectum* à Tiéningboué, Kounahiri, Béoumi et Bouaké aux latitudes respectives de 8°10'50"N/5°43'00"O, 7°47'27"N/5°50'05"O, 7°40'26"N/5°34'51"O et 7°41'37"N/5°01'49"O, tandis que le site expérimental est à Nidieou (9°58'12"N/6°37'60"O). Il a déjà été rapporté que le cotonnier cultivé en Côte d'Ivoire est sujet à plusieurs maladies (Cauquil et Follin, 1983). De fait, en dehors de l'absence probable d'un inoculum important, certaines conditions environnementales ne seraient pas favorables au développement des agents pathogènes.

En effet, *Fusarium spp* se montrerait plus adapté au sol sablo-argileux (Cauquil et Mildner, 1965 ; Alabouvette et *al.*, 1982) alors que le site expérimental se trouve sur un sol limoneux qui lui aurait présenté une grande résistance comme l'ont mentionné par ailleurs Alabouvette et *al.* en 1982. En outre, les températures moyennes pour les mois de juin et juillet et sur l'ensemble du cycle ont été respectivement de 27,5 ; 26,7 et 27 °C, quand les maximales ont atteint respectivement 32,7 ; 31,3 et 31°C. Bien que l'irrigation entraîne des variations de la température de l'air mesurée au-dessus du couvert végétal, la réduction de la température est en moyenne de 1°C, pour l'irrigation de faible fréquence (Saadia et *al.*, 1996). Ces conditions ne seraient pas favorables dans la mesure où l'optimum du développement de la fusariose se situerait entre 20°C (Yadav et *al.*, 2013) et 25°C (Pal et *al.*, 2019). De même, l'analyse du sol du site expérimental fournit un pH de 5,6 alors que le pH optimum favorable à la fusariose est de 5 (Yadav et *al.*, 2013) à 5,5 (Pal et *al.*, 2019).

Au niveau de *Pythium spp*, les températures optimales pour sa croissance à la surface de sol et dans les premières couches de matières organiques ont été respectivement évaluées à 26°C et 18,5 °C en moyenne (Hancock, 1977). Par conséquent, il semblerait que les températures de début du cycle sur le site expérimental n'aient pas offert les conditions idéales de développement pour *Pythium spp*. A cela il faut ajouter que les mois de juin et juillet ont connu plusieurs épisodes d'arrêt de pluie ayant conduit à une irrigation d'appoint. Il est possible que l'ajustement de l'apport d'eau au strict besoin de la culture, n'ait pas créé les conditions de saturation d'humidité nécessaires au développement des pathogènes. A ce niveau, Lomas (1991) a observé l'augmentation de l'humidité en raison de l'irrigation jusqu'à 30% au-dessus et 10% en dessous de la canopée. Cependant, dès l'arrêt de l'irrigation, il n'y a pas de différence significative entre les deux situations car les modifications microclimatiques seront principalement dues à l'évaporation issue du sol et de la culture (Lomas, 1991). En effet la durée de 7 minutes par épisode d'irrigation sur le site expérimental, ne semble pas avoir eu un impact significatif sur l'accroissement de l'humidité relative sous la canopée.

De plus, l'utilisation de semences préalablement traitée avec un mélange d'insecticide et de fongicide, pour l'innovation et le témoin de référence, aurait offert une protection supplémentaire contre les maladies. Car, le traitement systématique des semences de même que l'utilisation de variétés résistantes, permettent généralement de contrôler les principales maladies cryptogamiques connues (Ferron et *al.*, 2006). De même, la virescence florale n'a pas été observée ni sur l'innovation, ni sur les témoins.

En effet, l'utilisation d'insecticides systémiques, par enrobage des semences, est apparue comme une bonne solution (Cauquil et Follin, 1983) pour lutter contre la transmission de cette maladie par des vecteurs tels que *Orosius cellulosus*. L'absence de cette maladie sur les traitements sans produits agro-pharmaceutique, laisse penser qu'il ne s'agit probablement pas d'une zone endémique pour elle.

8-8- Observation générale

En matière d'analyse financière, les parcelles innovation, dans les conditions de l'étude, ont affiché 340289 FCFA/ha de revenu net au prix bord champ de 265 FCFA/kg de coton graine. Stessens (2002), a abouti à un revenu net agricole de 136 555 FCFA/ha, pour prix d'achat bord champ de 189 FCFA/kg (1er choix) de coton graine. En outre, les producteurs bénéficient d'un crédit agricole aussi bien pour la consommation de campagne que pour le matériel dont le remboursement est pluriannuel. Au niveau économique, pour 100 FCFA de charge variable investi par traitement, l'exploitant devrait recevoir 128 FCFA pour la pratique courante contre 275 FCFA pour l'innovation. Diarrassouba et *al.* (2014), ont mis en évidence un retour sur investissement de 73 FCFA pour 100 FCFA de charges variable investi, au prix de 140 FCFA/kg de coton graine. Ainsi, ces informations sont d'autant plus importantes que la production cotonnière ivoirienne est essentiellement destinée à l'exportation (Ducroquet et *al.*, 2017). A ce niveau, 2013, les revenus d'exportation de coton fibre se chiffraient à 134,3 milliards de FCFA pour la Côte d'Ivoire (INS, 2014). Dans ce contexte, et dans l'optique d'une économie compétitive, les coûts de production devraient être inférieurs à ceux des autres pays producteurs.

En effet, le coût moyen mondial de produire 1 kg de fibre brut était de 1,16 dollar américain, soit 657 FCFA au 31 juillet 2018 (CCIC, 2016). Considérant le taux de rendement fibre de 42% à l'égrenage (Intercoton, 2018), cela représente, un coût de production de coton graine de 275 FCFA/kg, supérieur au prix d'achat maximum bord champ de 265 FCFA/kg en 2018 (Intercoton, 2018). De plus, l'efficacité d'utilisation de l'eau obtenue pour l'innovation a été de 0,4 kg/m³, supérieure à celle du témoin de référence (0,2 kg/m³). Cela est d'autant plus important pour la compétitivité de la culture que l'utilisation de l'irrigation d'appoint est nettement plus économe en eau que l'irrigation ordinaire en continue (Thivet et Blinda, 2008). En outre, l'analyse de l'efficacité des traitements antiparasitaires, a montré que l'innovation, avec 7 % de perte de récolte, a permis de réduire ces pertes par rapport au témoins de référence. En effet, en 2018, la pression parasitaire a provoqué une perte moyenne de récolte de 23,5 % en Côte d'Ivoire (PR-PICA, 2019).

De fait, le taux de pertes de récoltes dues aux ravageurs, est resté en moyenne supérieur à 20 %, depuis 2015, sur l'ensemble des 5 pays du PR-PICA (Bénin, Burkina Faso, Côte D'Ivoire, Mali, Sénégal, Togo). A cela, il faut ajouter l'innovation a permis d'augmenter les rendements sans entrave parasitaire significative. Cela est une contribution en termes de coût d'opportunité des traitements parasitaires, car ceux-ci représentent environ 25 % du coût total des intrants (CCIC, 2018).

De tout ce qui précède, il parait donc évident que de nombreux facteurs indépendants de la pression parasitaire, pourraient expliquer les différences significatives observées en matière de croissance végétative et de rendement, entre l'innovation et les autres traitements. L'avortement et la chute précoce des boutons floraux, seraient liés au déséquilibre hydrique observé durant les phases florifère et fructifère des cotonniers, de même qu'une possible inadéquation de la nutrition minérale pourrait expliquer ces résultats (Konan et *al.*, 2015). Malgré la présence de 7 espèces de déprédateurs sur les cotonniers du site de l'étude et parmi lesquelles deux connues comme dévastatrices sur les cotonniers des parcelles relatives à l'innovation, les importants paramètres de la production n'ont pas été réellement impactés dans celles-ci. L'accent mis sur les paramètres du rendement, dans le sens de leur amélioration, notamment, la densité, la croissance et le nombre des capsules, a produit un effet de gain en rendement qui a compensé les pertes occasionnées par les ravageurs sous le traitement relatif à l'innovation. Ainsi, une irrigation d'appoint peut aider à atteindre un rendement d'environ 2,7 tonnes de coton par ha aux USA (FAO, 2018). Même si cet objectif reste loin des rendements de 3,8 tonnes et plus par ha observés en Australie, Brasil et Chine (FAO, 2018), il faut retenir que ces pays utilisent des semences transgéniques à *Bacillus thuringiensis* (Tabashnik et *al.*, 2002; Yang et *al.*, 2014; Luo et *al.*, 2015).

Conclusion et perspectives

L'objectif de l'expérimentation conduite à Nidieou était de répertorier les populations de ravageurs et de pathogènes sur la culture du coton et d'évaluer les pertes de production suite à l'introduction d'un système d'irrigation d'appoint au nord de la Côte d'Ivoire. Il ressort des analyses des données collectées, que la culture du coton semble être affectée par le changement climatique. En effet, les pluies deviennent tardives, obligeant les paysans à procéder également à des semis tardifs. Ainsi, la survenance d'abondantes pluies qui coïncident avec la fin du cycle de la culture, provoquent des pertes de fibre de coton en qualité et en quantité. En plus de ce facteur abiotique, la perte de production est également liée à la présence d'ennemis biotiques, composés essentiellement de ravageurs.

En effet, les observations n'ont pas conduit à la découverte de maladies. En outre, bien que l'impact des déprédateurs ait été d'au moins 8 % supérieur sur l'innovation par comparaison au témoin de référence, l'innovation a fourni un rendement de 2657,8 kg/ha contre 1616,3 kg/ha pour le témoin de référence. De plus, il est ressorti, le rôle primordial des produits agro-pharmaceutiques, sans lesquels, le rendement n'aurait guère dépassé les 226,5 kg/ha. Parallèlement, la croissance des plants, leur densité, le nombre de capsules par plant de même que le poids moyen capsulaire ont été améliorés par l'irrigation d'appoint. Aussi, cette innovation a-t-elle contribué à l'amélioration de la production du cotonnier sans entrave parasitaire significative, confirmant ainsi notre hypothèse de départ. Parallèlement, l'amélioration significative du rendement due à cette nouvelle approche pourrait être, au niveau financier, un gage d'amélioration substantielle du revenu des producteurs et, se faisant, de toute l'industrie cotonnière locale.

En définitive, dans les conditions de l'expérimentation, cette innovation, semble présenter des perspectives encourageantes pour le développement de la production cotonnière. Aussi serait-il souhaitable, dans l'optique d'une recommandation pour les programmes d'adaptation aux variabilités climatiques, que l'expérimentation soit reconduite dans les zones Sud, Centre et Nord du bassin cotonnier ivoirien. Parallèlement, au regard des régimes pluviométriques récents, il est souhaitable d'envisager une redéfinition des zones agro-climatiques, soutenue par des études plus élaborées.

En outre, au regard des résultats obtenus en relation avec la fertilisation, il est souhaitable que les recommandations de doses soit revues dans le cadre de nouvelles études de détermination de quantités optimales de fertilisant, par zones agro-pédologiques. Toutefois, la mise en œuvre d'une telle innovation en milieu paysans reste tributaire d'un investissement initial qui n'est pas à la portée immédiate des agriculteurs ivoiriens. De fait, le matériel d'irrigation doit non seulement être acquis, mais également être techniquement maîtrisé. A ce niveau des études complémentaires doivent être envisagées afin, d'une part, d'identifier le système d'irrigation optimal pour la Côte d'Ivoire et d'autre part, d'en analyser les contours économiques. Ce dernier point est d'importance dans la perspective d'une subvention du matériel, à utiliser. En effet, de nombreux pays producteurs de coton irrigué obtiennent des rendements plus de deux fois supérieurs à ceux fournis en Afrique subsaharienne. Il apparaît donc nécessaire d'envisager des groupes d'études thématiques afin d'orienter les gouvernants quant à la faisabilité technique (agronomique et nouvelle technologie de l'information) et économique de cette mutation sans laquelle le coton ouest africain risque de disparaître du fait de la concurrence internationale. Car, face au dérèglement climatique, seules des politiques volontaires peuvent conduire à des investissements qui aideront les peuples à mieux s'adapter aux nouvelles conditions environnementales.

Références bibliographiques

- Abo K., Klein K. K., Edel-Hermann V., Gautheron N., Traore D., et Steinberg C. (2005) High genetic diversity among strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* from cotton in Ivory Coast. *Population Biology* Vol. 95, No 12.
- Achilea O., Ronen E. et Elharrar G. (2005) 'Haifa Nutri-Net'-a Comprehensive Crop Nutrition Software, Operated Over the Web, *EFITA/WCCA Joint congress on it in agriculture*, 25-28 July 2005, Vila Real, Portugal.
- Ahmad, S., Abbas, Q., Abbas, G., Fatima, Z., Atique-ur-Rehman, Naz, S., ... Hasanuzzaman, M. (2017). Quantification of Climate Warming and Crop Management Impacts on Cotton Phenology. *Plants*, 6(4), 7.
- Alabouvette C., Couteaudier Y., Louvet J. et Bremeersch P. (1982) Comparaison de la réceptivité de différents sols et substrats de culture aux fusarioses vasculaires. *Agronomie, EDP Sciences*, 1982, 2 (1), p1-6.
- ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) (2015) Evaluation of the CSM-CROPGRO-Cotton Model for the Texas Rolling Plains Region and Simulation of Deficit Irrigation Strategies for Increasing Water Use Efficiency, *Transactions of the ASABE*, 685–696.
- Assouman S. F., Koné M. et Koli B. Z. (2016) Morphologie du paysage, variabilité pluviométrique et aménagement de la plaine alluviale de la Bagoé: L'exemple de Guinguerini au nord de la Côte d'Ivoire, *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, p1-17.
- Baffes J. (2010) Marchés des sous-produits du coton : Tendances mondiales et implications pour les producteurs Africains de coton, *La Banque Mondiale*, Juin 2010, 65P.
- Bagayoko K. (2013) L'importance et l'avenir du coton en Afrique de l'Ouest : cas du Mali. Economies and finances. Thèse de doctorat, *Université de Grenoble*, France, 2013. French. <NNT : 2013GRENE002> 420P
- Bambara D., Thiombiano A., et Hien V. (2016) Changements climatiques en zones nord-soudanienne et sub-sahélienne du Burkina Faso : comparaison entre savoirs paysans et connaissances scientifiques, *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 71, 24P.
- Bardin A. et Azais J.M. (1990) Une hypothèse minimale pour une théorie des plans d'expériences randomisés, *Revue de statistique appliquée*, tome 38, no 2, P 21-41.
- Barzman, M., Barberi, P., Birch, A.N.E. (2015) Eight principles of integrated pest management, *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1199–1215.
- Bednarz C. W., D. C. Bridges et Brown S. M. (2000) Analysis of cotton yield stability across population densities, *Agronomy Journal*, 92, 128-135.
- Bednarz C. W., Shurley W. D., Anthony W. S. et Nichols R. L. (2005) Yield, quality, and profitability of cotton produced at varying plant densities, *Agronomy Journal*, 97, 235-240
- Berti F., Hofs J.L., Zagbaï H.S. et Lebailly P. (2006) Le coton dans le monde, place du coton africain et principaux enjeux- *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2006 10 (4), 271–280, 10P.

- Bhourri KS, Douh B., Mguidiche A. et Boujelben A. (2015) Synthèse des principaux indicateurs de performance des systèmes irrigués, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre 2015, 17P.
- Bonni G., Houndete T., Paraiso A. et A. Hougni (2017) Efficacité du Kaolin (Kalaba) dans la gestion intégrée des chenilles endocarpiques du cotonnier dans la zone centre du Bénin, *European Scientific Journal*, Vol.13, No.21, 12P
- Brau M., Megie C., Fritz A. et Quillon, P.J. (1969) Sur la déficience en bore du cotonnier : observations préliminaires. *Agritrop.cirad.fr*, 4P.
- Brévault T., Badiane D., Goebel R., Renou A., Téréta I. et Clouvel P. (2019) Repenser la gestion des ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest, Article- *Cahiers Agricultures* 2019, 8P.
- Brewer M.J., Anderson D.I. et Parajuleeb M.N. (2016) Cotton water-deficit stress, age, and cultivars as moderating factors of cotton fleahopper abundance and yield loss, *Crop Protection* Volume 86, P56-61.
- Brou Y. T., Akindes F. et Bigot S. (2005) La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: entre perceptions sociales et réponses agricoles, *Cahiers Agricultures*, 14(6), 533-540
- Caballero Y., Chazot S., Citeau J.M., Dörfliger N. et Fleury P. (2011) Vulnérabilité des ressources en eau au changement global en zone méditerranéenne - Le projet Vulcain. Compte-rendu de fin de projet. *Rapport de recherche BRGM Bureau de recherches géologiques et minières*, 14P.
- Carluer N., Giannone G., Bazin P.H., Cherif R. et Gril J.J., (2010) Vers un outil de dimensionnement des dispositifs enherbés pour limiter les flux de phytosanitaires transférés par ruissellement Tests de scénarios. *Ingénieries eau-agriculture territoires*, Lavoisier; IRSTEA, 18P.
- CASA (Fao-Commission des Statistiques Agricoles pour l'Afrique) (2013) L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2013: un aperçu, *Vingt troisième Session -Rabat*, Maroc, 4 – 7 décembre 2013b, P1-5
- Cauquil J. (1986) Maladies et ravageurs du cotonnier en Afrique au Sud du Sahara. *Coton et Fibres Tropicales* (spéc.), 92P.
- Cauquil J. et Follin J.C. (1983) Les maladies du cotonnier attribuées à des virus ou à des mycoplasmes en Afrique au Sud du Sahara et dans le reste du monde. *Coton et Fibres Tropicales*, 38 (4) : 293-317. 25P.
- Cauquil J. et Mildner P. (1965) La situation actuelle de la fusariose (trachéomycose, "wilt disease ") du cotonnier en Centrafrique, *Coton et Fibres Tropicales*, 6P.
- CCIC (Comité Consultatif International du Coton) (2018) Les défis du coton: Solutions innovantes et durables, Procès-verbal 77ème Réunion plénière de l'CCIC, *Colloque scientifique*, 2-6 Décembre 2018 Abidjan, 42P.
- CCIC (Comité Consultatif International du Coton) (2016) Les dynamiques émergentes dans le secteur cotonnier : Améliorer la durabilité dans la chaîne de valeur du coton, Colloque scientifique, 75ème réunion plénière, Octobre 2016, Islamabad, 41P.
- CCI-CI (Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire) (2013) Fiche sectorielles – la filière coton en bref, 2P.
- CNRA (Centre national de recherche agronomique) (2005) Bien produire du coton en Côte d'Ivoire, *Fiche technique coton*, Décembre 2005, 5P.

- CNRA (Centre national de recherche agronomique) (2006) Bien produire du coton en Côte d'Ivoire, *Fiche technique coton n°1*, 4P.
- CNRA (Centre national de recherche agronomique) (2017) L'arachide, un bon précédent culturel du cotonnier en Côte d'Ivoire, *Fiche coton n°4*, 2P.
- Commodafrica (2018) La campagne 2018/19 s'annonce très bonne pour la filière coton en Côte d'Ivoire, <http://www.Commodafrica.com/23-04-2018-la-campagne-201819-sannonce-tres-bonne-pour-la-filiere-coton-en-cote-divoire>, 23 avril 2018, 1P.
- Commodafrica (2019) L'USDA confirme le dynamisme de la filière coton en Côte d'Ivoire, <http://www.Commodafrica.com/02-05-2019-lusda-confirme-le-dynamisme-de-la-filiere-coton-en-cote-divoire>, 02 mai 2019, 1P.
- Constable G. A. et Bange M.P. (2015) The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Field Crops Research* 2015, 9P.
- Coulibaly F. (2018), Communications personnelles sur statistiques de campagnes agricole chez IVOIRE COTON, Directeur Technique Agricole (DTA) de Ivoire Coton, 1P.
- Coulibaly F. (2019) Communications personnelles sur statistiques de commercialisation du Coton en Côte d'Ivoire, DTA de Ivoire Coton, 2019, 1P.
- Cournil C. et Gemenne F. (2010) Les populations insulaires face au changement climatique : des migrations à anticiper, Article, *Vertigo*, Volume 10 Numéro 3, P1-24.
- Craig J. A., Oakeshott J. G., Tay W.T., Karl H. J. G., Zwick A. et Tom K. W. (2018) Hybridization and gene flow in the mega-pest lineage of moth, *Helicoverpa* - *Harvard University*, Cambridge, MA - PNAS, 6P.
- Dagnelie P. (2000) La planification des expériences : choix des traitements et dispositif expérimental, *Journal de la société française de statistique*, tome 141, no 1-2, P5-29.
- Davis R. M. , Colyer P. D. , Rothrock C. S. et Kochman J. K. (2006) Fusarium wilt of cotton : Population diversity and implication for management, *Plant Disease* / Vol. 90 No. 6, 12P.
- Diarrassouba N., Silue S., Fofana J.I., Gougba D. N., Kouame M.T.N. et Koffi E.K. (2014) Caractérisation et évaluation des vivriers dans un système d'exploitation agricole à base de coton dans le département de Sinématiali – Côte d'Ivoire, *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(4): P1656-1668.
- Djimasra N.N. (2012)- Déterminants de la performance des exportations de coton : cas des pays Africains - *Revue d'Economie Théorique et Appliquée*, Volume 2 – Numéro 1 – Juin 2012, 14P.
- Domenach H. (2008) Les grandes tendances démographiques et l'environnement: l'enjeu d'une planète viable. *Mondes en Développement*, 36 (142), P97-111.
- Drame A. (2004) Pathogénie comparée de quelques souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* Atk. , Agent de la fusariose du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au Sénégal, *Agronomie Africaine* 16 (2) : P33-38.
- Ducroquet, H., Tillie, P., Louhichi, K. et Gomez-Y-Paloma, S. (2017) L'agriculture de la Côte d'Ivoire à la loupe: Etats des lieux des filières de production végétales et animales et revue des politiques agricoles, *Union européenne, EUR 28754 FR*, 244P.

- Elharrar G. (2016), L'agriculture à l'ère du changement climatique, Séminaire International, du 07 au 20 Septembre 2016, Irrigation methodes1, *Galilee Institute, Israel*, 164P.
- Elharrar G. (2016) L'agriculture à l'ère du changement climatique, Séminaire International, du 07 au 20 Septembre 2016, Sol plante eau et Irrigation, *Galilee Institute, Israel*, 214P.
- EU (Encyclopedia Universalis) (2019) Origines et principales caractéristiques du cotonnier <https://www.universalis.fr/encyclopedie/coton/1-origines-et-principales-caracteristiques-du-cotonnier/>, 2019, 1P.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2018) Economic importance of cotton in Burkina Faso, 68 pages.
- FAO (2017) Valeurs standards d'évapotranspiration, <http://www.fao.org/docrep/S2022E/s2022e00.htm#Contents>, 1P.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2019) Statistiques agricoles, *site Countrystat*, faostat.fao.org/faostat/fr/#data/QC-, 5P.
- Fedele G. (2017) Landscape management strategies in response to climate risks in Indonesia. Global Changes. Thèse de Doctorat. *Agroparistech, Paris, France*, P9-10, P170-173.
- Ferron P., Deguine J.P. et Mouté J.E. (2006) Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école, *Cahiers Agricultures* vol. 15, n° 1, 7P.
- Follin J.C. (1982) La virescence florale ("Phylodie") du cotonnier en Côte d'Ivoire. Possibilité de lutte, *Coton et Fibre Tropical*, 1982, vol. XXXVII, 3P.
- FNUAP (Fond des Nations Unis pour la Population) (2006) World population prospects, the 2006 revision, Highlights, *ESA/P/WP.202 Department of Economic and Social Affairs, Population Division ONU*, New York, 110P.
- Gerik T.J., Rosenthal W.D., Stockle C.O., et Jackson B.S. (1989) Analysis of Cotton Fruiting, Boll Development, and Fiber Properties under Nitrogen Stress - Beltwide *Cotton Research, National Cotton Council, Memphis TN – Conferences*, P 64-67.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2013) Résumé à l'intention des décideurs, changement climatique 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du groupe de travail au cinquième rapport d'évaluation du GIEC. *Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis*, 34 p.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2018) special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, <https://www.ipcc.ch>, 138P.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007). Résumé à l'intention des décideurs, in: Changements Climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du groupe de travail au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. *Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis*, 18 p. 422
- Goergen G., Kumar P.L., Sankung S.B., Togola A., et Tamò M. (2016) First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa. *PLoS ONE* 11(10), 9P.
- Goula B. T. A., Srohourou B., Brida A. B., Kanga B. I., N'zué K. A. et Goroza G. (2010) Zoning of rainfall in Côte d'Ivoire, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(11), 6004-6015.

- Haifa-group (2018) Fertilization: cotton, how to get better yield, water use efficiency and fiber fineness, <https://www.haifa-groupe.com/fr/fertilization-cotton-how-get-better-yield-water-use-efficiency-and-fibre-fineness>, 2P.
- Hamelin P. (2004) La transformation des espaces ruraux ; de la production agricole au développement rural, in *Domenach H., Picouet M. (eds)*, 77-100.
- Hancock J. G. (1977) Factors Affecting Soil Populations of *Pythium ultimum* .In the San Joaquin Valley of California, *HILGARDIA*, Volume 45, Number 4, 18P.
- Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, et K. Lo, (2010) Global surface temperature change, *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345, 29P.
- Hansen J., Johnson D., Laxis A., Lebedeff S., Lee P., Rind D., et Russell G., (1981) Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide, *Science*, 213, 957-966.
- Hernández C. P., Imbuzeiro H. A., Pimentel L. D., Hamakawa P. J. et Both A. J. (2018) Morphological, physiological and nutritional effects of irrigation frequency on macaúba palm seedlings, *Journal of Agricultural Science*; 10(4), 24-36.
- Houndete T.A, Hougni A., Aladji S., Dagoudo A., Zoumarou W.N. et Agnès A. Thomas O.A.A. (2015) Comportement de principaux bioagresseurs et maladies du cotonnier sur les variétés éprouvées de cotonnier (*Gossypium hirsutum*) sous différentes doses d'engrais à Angaradébou au Bénin, *International Journal of Biological and Chemical Science* 9(1): P217-224.
- Howell T.A. et Migal M.M. (2007) Microirrigation for Crop Production, *Elsevier B.V.*2007, 70P.
- Hu, W., Snider, J. L., Wang, H., Zhou, Z., Chastain, D. R., Whitaker, J. et Bourland, F. M. (2018) Water-induced variation in yield and quality can be explained by altered yield component contributions in field-grown cotton. *Field Crops Research*, 224, 139–147.
- Huang, J., & Ji, F. (2015) Effects of climate change on phenological trends and seed cotton yields in oasis of arid regions. *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 877–888.
- INPN (Inventaire National du Patrimoine Naturel) (2018) *Gossypium hirsutum* L., 1763, https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/447303/tab/taxo, P1.
- INS (Institut National de la statistique) (2014) Annuaire Statistique du Commerce Extérieur 2013, *Annuaire des Statistique du Commerce Extérieur*, République de Côte d'Ivoire - Ministère du Plan et du Développement, ancomext impor export rci 2013, 30P.
- Intercoton (2018) Le coton ivoirien, *Bulletin d'information de la filière coton ivoirienne*, N°49-PO-A4-Intercoton, 4P.
- Intercoton (2018) Communication 11ème Colloque scientifique du PR-PICA, Avril 2018 LOME, 14P.
- Intercoton (2019) Statistiques du coton ivoirien de 1999 à 2018, 1P.
- Irmak, S., Lameck O., William L.K. et Dean E. (2011) Irrigation Efficiency and Uniformity, and Crop Water Use Efficiency, *Biological Systems Engineering*, 9P.
- ITIS (Integrated Taxonomic Information Systeme) (2019) Magnoliopsida Taxonomic Serial No.: 18063 <https://www.itis.gov/citation.html>, P1.
- Jones, M. A., et Wells, R. (1998) Fiber yield and quality of cotton grown at two divergent population densities. *Crop Science*, 38(5), 1190–1195.

- JIC (Jain Irrigation Company, NAANDANJAIN) (2016) Product Catalog - Hydraulic calculations - Drip lateral analysis – Sprinkler distribution calculations, *NaanDanJain Irrigation Ltd*, www.Naandanjain.com, Version 2016.
- Kadekoy T.D., et Bello H.B. (2007) Diagnostic de la qualité et du mécanisme d'incitation économique des producteurs de coton en Centrafrique, Rapport d'étude, *Institut Centrafricain de la Recherche Agronomique*, 23P.
- Kambou D., Xanthoulis D., Ouattara K., et Degré A. (2013) Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 13P.
- Khan A., Kong X., Najeeb U., Zheng J., Tan D. K. Y., Akhtar K., Munsif F. et Zhou R. (2019) Planting density induced changes in cotton biomass yield, fiber quality, and phosphorus distribution under beta growth model, *Agronomy*, 9(500), 1-18.
- Khan A., Pan X., Najeeb U., Tan D. K.Y., Fahad S., Zahoor R. et Luo H. (2018) Coping with drought: Stress and adaptive mechanisms, and management through cultural and molecular alternatives in cotton as vital constituents for plant stress resilience and fitness. Biological Research. *BioMed Central Ltd.*, P1.
- Koffi K. (2005) Zonage agro-écologique de la Côte d'Ivoire, approche méthodologique-Communication en atelier, *WMO/FAO training workshop on remote sensing data application in Agricultural Meteorology*, GABERON, 14 -18 Novembre 2005, P1-2, 22-24.
- Koffi, S.Y., (2013) Liberalisation de la filiere coton en Côte d'Ivoire quinze ans après : empreinte spatiale et organisationnelle. *Cinq Continents* 3 (7): 5-17.
- Konan (2019), Communications personnelles sur statistiques de campagne cotonnières 2018-2019, Directeur Technique Agricole de la Compagnie Ivoirienne de Coton, 2P.
- Konan J. N., Fofana I. Silué J., S., Diarrassouba N., N'guessan E. et Sangaré A. (2015) Caractérisation agromorphologique précoce de quarante-huit lignées de cotonnier (*Gossypium hirsutum*) en Côte d'Ivoire, *Afrique Science*, 11(5), 422-432.
- Konan N. O. et Mergeai G. (2007) Possibilités d'amélioration de la principale espèce cultivée de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) pour la résistance au nématode réniforme (*Rotylenchulus reniformis* Linford et Oliveira), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2007 11 (2), 159–171.
- Koné P. W. E., Ochou G. E. C., Didi G. J. R., Dekoula S. C., Kouakou M., Bini K. K. N., Mamadou D. et Ochou G. O. (2017) Evolution spatiale et temporelle des dégâts du jasside *Jacobiella facialis*, *Jacobi* 1912 (Cicadellidae) en comparaison avec la distribution de la pluviométrie au cours des vingt dernières années dans les zones de culture cotonnière en Côte d'Ivoire, *International journal of biological and chemical sciences*, 11(3): 1190-1201.
- Kouadio E. N., Koffi E. K., Kouakou B. J., Messoum G. F., Brou K. et N'guessan D. B. (2018) Diagnostic de l'état de fertilité des sols sous culture cotonnière dans les principaux bassins de production de Côte d'Ivoire, *European Scientific Journal*, 14(33), 221-238.
- Kouadio K. Y., Aman A., Ochou A. D., Ali K. E. et Assamoi P. A. (2011) Rainfall Variability Patterns in West Africa: Case of Cote d'Ivoire and Ghana, *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5, 1229-1238.
- Kurukulasuriya P. et Mendelsohn R. (2007) Endogenous irrigation: The impact of climate change on farmers in Africa, World Bank Policy Research Working Paper 4278, WPS4278 *world bank*, P1.

- Laboucheix J. (1986) Contribution à l'étude de la transmission de la virescence florale du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Burkina Faso, Thèse de doctorat 3^{ème} Cycle en Biologie animale. Entomologie, à Paris 11, *Université de Paris-Sud*. Faculté des Sciences d'Orsay (Essonne).
- Labreuche J. (2010) Les principaux tests statistiques de l'analyse univariée : quand et comment les utiliser ? *Sang Thrombose Vaisseaux* 2010 22, n° 10, doi :10.1684/stv.2010.0542, 10P.
- Laere P.E.V. (2003) Mémento de l'irrigation, *Ingénieurs Assistance Internationale-Ingénieurs sans Frontières*, 2003, 15P.
- Lakho H. R., Soomro A. A., Rashid M. A. R. et Memon S. (2016) Determination of general and specific combining ability of five upland cotton cultivars, *Journal of Agricultural Science*; 8(3), 106-111.
- LOMAS J. (1991) Sprinkler irrigation and plant disease under semi-arid climatic conditions, *Bulletin OEPP/EPPO*, 21, p 365-370.
- Longepeee E., (2014) La résilience des systèmes socio-écologiques des États atolliens dans le contexte du changement climatique: le cas de Kiribati (Pacifique Sud). Thèse de Doctorat, Géographie. *Université de La Rochelle*, France. 501P.
- Luo Q., Bange M., Johnston D. et Braunack M. (2015) Cotton crop water use and water use efficiency in a changing climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 202 , 126–134.
- Martin J.P. (1970) Le cotonnier et quelques autres plantes à fibres tropicales, *Ird documentation*, P1-15,
- Martin T., Ochou G. O., Djihinto A., Traore D., Togola M., Vassal J. M., Vaissayre M. et Fournier D. (2005) Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 409-411.
- Michel B., Togola M., Téréta I. et Traoré N. N. (2000) La lutte contre les ravageurs du cotonnier au Mali : problématique et évolution récente, *Cahiers Agricultures*, 9, 109-115.
- Michel L. (1958) Les Nématodes et le flétrissement des Cotonniers dans le Sud-Ouest de Madagascar. *Coton et Fibres Tropicales*, 13 (2), 1-18.
- Milly P. C. D. et Dunne K. A. (2016) Potential evapotranspiration and continental drying, *Nature climate change*, 6, 946-949.
- Ministère de l'Agriculture (2018) Actualité, Prix du coton, http://www.agriculture.gouv.ci/accueil/details_actualite/cote-d-ivoire-le-prix-du-coton-maintenu-a-265-fcfa-kg-pour-la-campagne-2018-2019993, P1.
- Ministère du Plan et du Développement (2013) Annuaire Statistique du Commerce Extérieur 2013, <http://www.ins.ci/n/templates/docss/ancomext.pdf>, 30p.
- Montginoul M. et Rinaudo J.D. (2011) Quels outils de gestion des prélèvements en eau agricole pour faire face à la réduction annoncée des disponibilités en eau? Eléments de réflexion à partir de scénarios de prospective discutés avec des agriculteurs et des institutionnels. *5èmes journées de recherches en sciences sociales*, INRA-SFER-CIRAD AgroSup Dijon, Decembre 2011, France. 19P.
- Moore, S. H. (1998). Nitrogen effects on the fate of cotton bolls. *Journal of Plant Nutrition*, 21(6), 1145–1152.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) (2018) About GISS (Goddard Institute for Space Studies), <https://www.giss.nasa.gov/about>, P1.

- Nibouche S., Beyo J. et Gozé E. (2003) Mise au point d'une méthode d'échantillonnage rapide des chenilles de la capsule du cotonnier, *Actes du colloque*, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, 5p.
- Noufé, D., Lidon, B., Mahé, G., Servat, E. et Chaléard, J. L. (2015). Impact de l'évolution des conditions agroclimatiques sur les systèmes de culture à base de banane plantain : le cas de l'Est ivoirien. *Vertigo la revue électronique en sciences de l'environnement*, 15(1), 15P.
- Ochou G. E. C., Kobenan K. C., Kone W.P.E., Didi R., Kouakou M., Bini K.K.N., Dagnogo M., Dick A.E. et Ochou G.O. (2018) Caractéristiques de l'évolution spatio-temporelle de *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera : Gelechiidae) dans les zones de production cotonnière de Côte d'Ivoire : Implications pour une stratégie de gestion optimale de la résistance aux pyréthrinoïdes, *European Scientific Journal*, Vol.14, No.21, 19P.
- Odong T.L., Tenywa J.S. et Nabasirye M. (2019) Revisiting application of statistics in agricultural research in sub-saharan africa: Entry points for improvement African, *Crop Science Journal*, Vol. 27, No. 3, 16P.
- Oerke E. C. (2006) Crop losses to pests, *Journal of Agricultural Science*, Article, Cambridge University Press 3, 13P.
- OMC (Organisation mondiale du commerce) (2019) WT/TPR/S/362•Côte d'Ivoire - Annexes 3, 66P.
- Pal N., Kumar A., et Malannavar A.B. (2019) Effect of temperature and pH levels on the growth and sporulation of *Fusarium oxysporum* f.sp. lini causing linseed wilt, *International Journal of Chemical Studies*, 4P.
- Patoin J., (2012) Production du coton en Afrique de l'ouest et du centre: Des pratiques agronomiques simples pour améliorer les rendements, *Article de presse, Le Pays* -13 Novembre 2012, 2P.
- Pastori M., Dondeynaz C., Minoungou B., Udias A., Amezttoy I., Hamatan M., Cattaneo L., Ali A., Moreno C. C. et Ronco P. (2019) Identification of optimal agricultural development strategies in the West African sahel Mékrou transboundary River Basin, In Springer, *Agriculture and Ecosystem Resilience in Sub Saharan Africa*, 729-746.
- Peng, S., Krieg, D. R., et Girma, F. S. (1989). Cotton photosynthetic rate measurements: relationship between single leaf and whole canopy. Proceedings: 1989 Beltwide cotton research conferences, Jan. 3-6, Nashville, TN, P80-83.
- Pereira L.S. (2005) Relating water productivity and crop evapotranspiration, *WASAMED Workshop*, 4th, 2005, 19P.
- Petersen A. et Gulik T. W. V. D. (2009) *Agricultural sprinkler irrigation scheduling calculator*, 25P.
- Pettigrew W. T. (2010) Impact of varying planting dates and irrigation regimes on cotton growth and lint yield production, *Agronomy Journal*, 102 (5), 1379-1387.

- Pleysier J.L. (1991) Echantillonnage du sol et préparation des échantillons, Guide de recherche de l'IITA N°2, 29P.
- Pouchard A. (2014) Climat : 5 rapports du GIEC, 5 chiffres alarmants, *Le Monde.fr*, P1
- PR-PICA (Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique) (2019) Rapport 12^{ème} Colloque scientifique, Cotonou - Bénin, 10 au 12 avril 2019.
- PR-PICA (Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique) (2018) *Bulletin d'information du PR-PICA* N°16, Juillet 2018, 5P.
- PR-PICA (Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique) (2018) *Bulletin d'information du PR-PICA* N°15, Mai juin 2018, 5P.
- PR-PICA (Programme régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique) (2018) Rapport 11^{ème} Colloque scientifique, Lomé-Togo, 18 au 20 Avril 2018.
- PR-PICA (Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique) (2017) Rapport 10^{ème} Colloque scientifique, Yamoussoukro - Côte d'Ivoire, 24 au 26 avril 2017.
- Saadia R., Huber L. et Lacroix B. (1996) Modification du microclimat d'un couvert de maïs au moyen de l'irrigation par aspersion en vue de la gestion des stress thermiques des organes reproducteurs. *Agronomie, EDP Sciences*, 16 (8), P465-477.
- Sansilvestri R. (2015) Evaluation de la capacité adaptative des socio-écosystèmes forestiers face au changement climatique : le cas de la migration assistée Thèse de Doctorat, Université Paris-Saclay, France, P1-2.
- Sawan, Z. M. (2018) Climatic variables: Evaporation, sunshine, relative humidity, soil and air temperature and its adverse effects on cotton production. *Information Processing in Agriculture*. China Agricultural University. 29P.
- Silvie P., CIRAD-PERSYST (2018) Menaces potentielles liés aux ravageurs en culture cotonnière africaine dans le contexte des changements globaux, *Communication au 11^{ème} colloque scientifique du PR-PICA*, LOME 18-20 Avril 2018, 56P.
- Silvie P. et Fok M. (2016) Irrigation et application simultanées d'intrants, *cotton-innovation.cirad.fr*, 4P.
- Silvie P.J. (2012) Ravageurs du cotonnier et protection intégrée, *IRD/CIRAD*, 103P.
- Singh, Y., Rao, S. S., & Regar, P. L. (2010). Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 97(7), P965–970.
- Skovsted A. (1934) Cytological studies in cotton - II. Two interspecific hybrids between Asiatic and new world cottons - *Indian Academy of Sciences*, 18P.
- Soumare M. et Havard M. (2017) Les zones cotonnières africaines-dynamiques et durabilité, *Actes du Colloque de Bamako*, Novembre 2017, P16.
- Stessens J. (2002) Analyse technique et économique des systèmes de production agricole au nord de la Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat No. 530 à la Faculté des Sciences Biologiques Appliquées de la KULeuven, P45-100.
- Tabashnik B. E., Dennehy T. J., Sims M. A., Larkin K., Head G. P., Moar W. J. et Yves Carrière (2002) Control of resistant pink bollworm (*Pectinophora gossypiella*) by transgenic cotton that produces *Bacillus thuringiensis* toxin Cry2Ab, *Applied and Environmental Microbiology*, P3790-3794.

- Thivet G. et Blinda M., (2009) Réviser les stratégies hydrauliques, Repenser le développement rural en Méditerranée *Méditerranée 2009*, P65-136.
- Thivet G. et Blinda M. (2008) Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques, *XIIIème Congrès Mondial de l'Eau*, mars 2008, 16P.
- Top A. (2014) Evolution des Systèmes de production dans un contexte de changement climatique et de migration et effet de genre dans les trois zones éco géographiques de la région de Matam au Sénégal , Thèse de Doctorat ,Université de Toulouse, 27 juin 2014, P1-3,450-455).
- Tossou E., Tapa-Yotto G., Kpindou O.K.D., Sandeu R., Datinon B., Zeukeng F., Akoton R., Tchigossou G.M., Djègbè I., Vontas J., Martin T., Wondji, C., Tamò M., Bokonon-Ganta A.H. et Djouaka, R. (2019) Susceptibility Profiles of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to Deltamethrin Reveal a Contrast between the Northern and the Southern Benin. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 1882, 15P.
- Traoré S.S., Soumaré M., Muller J.P., Diakité C. H. et Diawara M. (2017) Modélisation d'accompagnement et multi-agent pour une gestion durable des ressources au niveau local, *Actes du Colloque de Bamako*, Novembre 2017, P129-139.
- Tariq M., Yasmeen A., Ahmad S., Hussain N., Afzal M. N. et Hasanuzzaman M. (2017) Shedding of fruiting structures in cotton: Factors, compensation and prevention, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, P251–262
- Wang, Z., Chen J., Xing F., Han Y., Chen F., Zhang L. et Li C. (2017) Response of cotton phenology to climate change on the North China Plain from 1981 to 2012. *Scientific Reports*, 7(1), 10P.
- Yadav R.S., Tyagi S., Javeria S. et Gangwar R. (2013) Effect of Different Cultural Condition on the Growth of *Fusarium moniliforme* Causing Bakanae Disease, *European Journal of Molecular Biotechnology*, Vol. 4, No. 2, 6P.
- Yang G. Z., Luo X. J, Nie Y. C. et Zhang X. L. (2014) Effects of Plant Density on Yield and Canopy Micro Environment in Hybrid Cotton, *Journal of Integrative Agriculture*, 13(10), P2154-2163
- Yao H., Zhang Y., Yi X., Zhang X., et Zhang W. (2016). Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen. *Field Crops Research*, 188, P10-16.
- Zhi X., Han Y., LI Y., Wang G., Du W., Li X., Mao S. et Feng L. (2016). Effects of plant density on cotton yield components and quality, *Journal of Integrative Agriculture*, 15(7), P1469-1479.
- Zörb C., Senbayram M., et Peiter E. (2014). Potassium in agriculture--status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), P656–69.
- Zwart SJ et Bastiaanssen WGM (2004) Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize, *Agricultural Water Management* 69 (2004), 19P.

Annexes

Estimation de la Dose, Fréquence et Durée de l'irrigation pour chaque phase du cycle de la plante

Informations recherchées

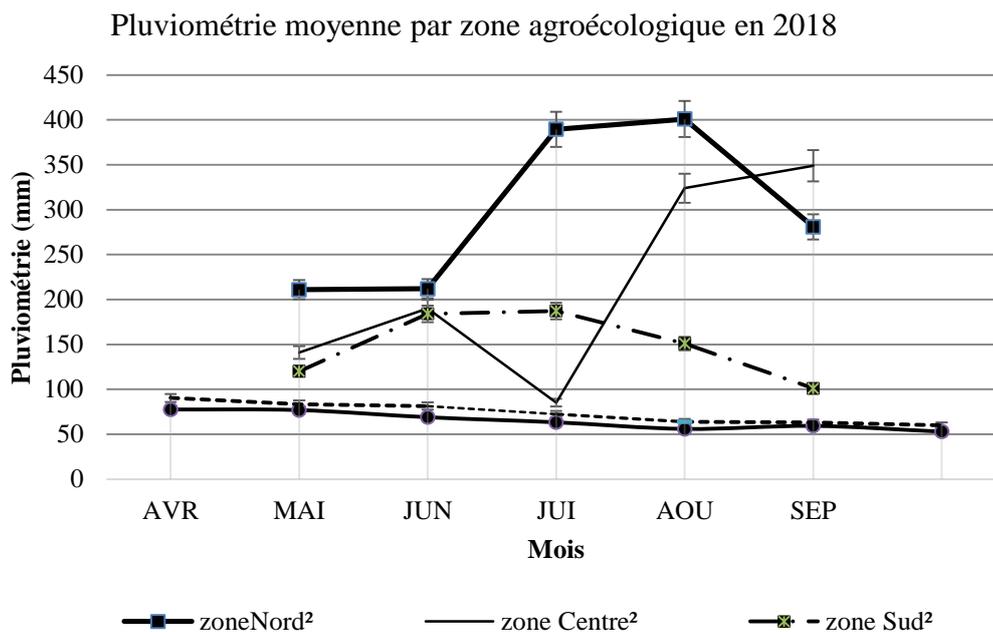
Cycle d'Irrigation : jours
 Dose nette : m³/ha
 Dose brute : m³/ ha
 Fréquence : m³/ha/ x jours
 Durée de l'irrigation : heure

Données

VZr = Volume de zone racinaire (m³/ha)
 PZ r = Poids de la zone racinaire (mt/ha)
 VDZr = Volume d'eau zone racinaire (m³)
 VDEf = Volume d'eau effectif (m³/ha)
 DNr = Dose nette à restituer (rm³/ha)
 ETC = besoins journalier de la culture (mm/jour)

Tableau 1 ; Doses d'irrigation calculées par phase du cycle de croissance (mm/jour)

Phases du cycle du Cotonnier	Levée	Croissance	Maturité	Senescence
	1 - 0 à 25 J	2 - 26 à 55 J	3 - 56 à 90 J	4 - 91 à 120 J
Besoin journalier	3	5	7	5
Apport prévue (Pour ETP/2)	1,5	2,5	3,5	2,5
Apport réalisé	3,5	3,5	0	0



Source : ²PR-PICA, 2019 ; SODEXAM, 2019

Figure 1 : Pluviométrie Moyenne partie Sud, Centre et Nord de la zone cotonnière ivoirienne en 2018

Tableau 2: Comparaison de la taille moyenne des plants au 73^{ème} Jour après semis

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T2	96,08 ^a	1,78	B3*T2	99,80 ^a	3,08
T1	88,58 ^b	1,78	B1*T2	98,33 ^{a b}	3,08
T3	63,28 ^c	1,78	B1*T1	96,60 ^{a b}	3,08
T0	45,19 ^d	1,78	B1*T3	95,10 ^{a b}	3,08
			B2*T2	90,10 ^b	3,08
			B3*T1	89,37 ^b	3,08
Bloc	Moyenne	Er. St.	B2*T1	79,77 ^c	3,08
B1	83,80 ^a	1,54	B2*T3	49,83 ^d	3,08
B3	69,28 ^b	1,54	B2*T0	47,37 ^d	3,08
B2	66,77 ^b	1,54	B1*T0	45,17 ^d	3,08
			B3*T3	44,90 ^d	3,08
			B3*T0	43,03 ^d	3,08

Tableau 3: Comparaison du nombre moyen de capsules par plant au 73^{ème} Jour après semis

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T0	3,97 ^c	0,81	T2*Bloc1	29,73 ^a	1,40
T1	23,11 ^b	0,81	T1*Bloc1	26,20 ^{ab}	1,40
T2	26,39 ^a	0,81	T2*Bloc2	25,67 ^{ab}	1,40
T3	3,41 ^c	0,81	T2*Bloc3	23,77 ^{bc}	1,40
			T1*Bloc3	22,43 ^{bc}	1,40
Bloc	Moyenne	Er. St.	T1*Bloc2	20,70 ^c	1,40
Bloc1	15,49 ^a	0,70	T0*Bloc3	6,37 ^d	1,40
Bloc3	14,00 ^{ab}	0,70	T3*Bloc2	3,77 ^d	1,40
Bloc2	13,17 ^b	0,70	T3*Bloc3	3,43 ^d	1,40
			T3*Bloc1	3,03 ^d	1,40
			T0*Bloc1	3,00 ^d	1,40
			T0*Bloc2	2,53 ^d	1,40

Tableau 4: Nombre de loges par capsule

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T1	4,67 ^a	0,11	T1*Bloc2	5,00 ^a	0,19
T2	4,67 ^{ab}	0,11	T2*Bloc3	4,83 ^{ab}	0,19
T0	4,33 ^{ab}	0,11	T1*Bloc3	4,67 ^{abc}	0,19
T3	4,33 ^b	0,11	T2*Bloc2	4,67 ^{abc}	0,19
			T3*Bloc1	4,50 ^{abc}	0,19
Bloc	Moyenne	Er. St.	T0*Bloc1	4,50 ^{abc}	0,19
			T2*Bloc1	4,50 ^{abc}	0,19
Bloc2	4,54 ^a	0,10	T0*Bloc2	4,33 ^{bc}	0,19
Bloc3	4,50 ^a	0,10	T3*Bloc3	4,33 ^{bc}	0,19
Bloc1	4,46 ^a	0,10	T1*Bloc1	4,33 ^{bc}	0,19
			T0*Bloc3	4,17 ^c	0,19
Moyenne	4,50	0,10	T3*Bloc2	4,17 ^c	0,19

Tableau 5 : Pourcentage de capsules attaquées par plant

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T1	4,6 ^a	2,2	T1*Bloc3	2,8 ^a	3,6
T2	13,0 ^b	2,2	T1*Bloc1	5,6 ^a	3,6
T3	27,8 ^c	2,2	T1*Bloc2	5,6 ^a	3,6
T0	33,3 ^c	2,2	T2*Bloc2	8,3 ^a	3,6
			T2*Bloc3	13,9 ^a	3,6
Bloc	Moyenne	Er. St.	T2*Bloc1	16,7 ^a	3,6
			T3*Bloc1	22,2 ^{ab}	3,6
Bloc1	18,8 ^a	1,9	T0*Bloc3	27,8 ^{ab}	3,6
Bloc3	18,8 ^a	1,9	T0*Bloc1	30,6 ^{ab}	3,6
Bloc2	21,5 ^a	1,9	T3*Bloc2	30,6 ^{ab}	3,6
			T3*Bloc3	30,6 ^b	3,6
Moyenne	19,7	1,9	T1*Bloc3	41,7 ^c	3,6

Tableau 6: Densité de plants par ha

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T0	20 139,00 ^d	1 260,78	T0* Bloc1	19 719,67 ^g	2 183,73
T1	53 934,56 ^b	1 260,78	T0* Bloc2	18 798,00 ^g	2 183,73
T2	67 593,00 ^a	1 260,78	T0* Bloc3	21 899,33 ^{fg}	2 183,73
T3	34 895,56 ^c	1 260,78	T1* Bloc1	58 378,00 ^{bc}	2 183,73
			T1* Bloc2	50 591,67 ^d	2 183,73
			T1* Bloc3	52 834,00 ^{cd}	2 183,73
Bloc	Moyenne	Er. St.	T2* Bloc1	62 024,33 ^b	2 183,73
Bloc1	44 100,00 ^b	1 091,86	T2* Bloc2	75 738,33 ^a	2 183,73
Bloc2	46 429,00 ^a	1 091,86	T2* Bloc3	65 016,33 ^b	2 183,73
Bloc3	41 892,58 ^b	1 091,86	T3* Bloc1	36 278,00 ^e	2 183,73
			T3* Bloc2	40 588,00 ^e	2 183,73
			T3* Bloc3	27 820,67 ^f	2 183,73

Tableau 7 : Poids moyen capsulaire

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T0	2,6 ^a	0,0614	T0*Bloc3	2,2000 ^a	0,1063
T3	2,9 ^b	0,0614	T3*Bloc1	2,3667 ^a	0,1063
T1	4,0 ^c	0,0614	T0*Bloc1	2,8000 ^b	0,1063
T2	5,4 ^d	0,0614	T0*Bloc2	2,8000 ^b	0,1063
			T3*Bloc2	2,9667 ^b	0,1063
Bloc	Moyenne	Er. St.	T1*Bloc3	3,0000 ^b	0,1063
			T3*Bloc3	3,4333 ^c	0,1063
Bloc3	3,3 ^a	0,1488	T2*Bloc3	4,5000 ^d	0,1063
Bloc1	3,9 ^b	0,1488	T1*Bloc2	4,5333 ^d	0,1063
Bloc2	4,1 ^b	0,1488	T1*Bloc1	4,6000 ^d	0,1063
			T2*Bloc1	5,8000 ^e	0,1063
			T2*Bloc2	5,9667 ^e	0,1063

Tableau 8: Rendement moyen en coton graine

Traitements	Moyenne	Er. St.	Traitement*Blocs	Moyenne	Er. St.
T0	180,67 ^c	67,86	T0* Bloc1	206,00 ^e	117,53
T1	1616,26 ^b	67,86	T0* Bloc2	184,00 ^e	117,53
T2	2657,77 ^a	67,86	T0* Bloc3	152,00 ^e	117,53
T3	226,51 ^c	67,86	T1* Bloc1	1 990,77 ^c	117,53
			T1* Bloc2	1 574,33 ^d	117,53
			T1* Bloc3	1 283,67 ^d	117,53
Bloc	Moyenne	Er. St.	T2* Bloc1	2 546,30 ^b	117,53
Bloc1	1,252.32 ^a	58.76	T2* Bloc2	3 023,33 ^a	117,53
Bloc2	1,252.33 ^a	58.76	T2* Bloc3	2 403,67 ^b	117,53
Bloc3	1,006.25 ^b	58.76	T3* Bloc1	266,20 ^e	117,53
			T3* Bloc2	227,67 ^e	117,53
			T3* Bloc3	185,67 ^e	117,53

Tableau 9: Estimation du coût de production du coton graine par traitement

PARAMETRES	Campagne 2018 – 2019			
	T0	T3	T1	T2
Rendement kg/ha	181	227	1 616	2 658
Prix de vente	251	251	271,3	271,3
Valeur Produit Totale (VPT)	45 431	56 977	438 421	721 115
Agropharceutiques			44 670	44 670
Engrais			86 570	86 570
Tranport*	7 500	7 500	15 000	15 000
Main d'œuvre*	37 836	38 369	46 293	46 293
Coûts Variables Totaux (CVT)	45 336	45 869	192 533	192 533
Equipement divers*			24 232	24 232
Equipement Irrigation		164 061		164 061
Coûts Fixes Totaux (CFT)	-	164 061	24 232	188 293
Marge Brute (MB)	95	11 108	245 888	528 582
Marge Nette (MN)	95	- 152 953	221 656	340 289
NJT ²	85	92	104	111
Valeur ajoutée Nette/jour (VAN)	1	- 1 663	2 131	3 066

(*) : Diarrassouba et al. et *al.*, 2014 ; Stessens, 2002

Complementary Irrigation Effect on Seed Cotton Yield in North Côte d'Ivoire

Brahima Traoré¹, Tagouèlè Tiho², Zégoua Régis N'gatta² & Jean Pohé¹

¹ Laboratory of Crop Protection, Department of Agriculture and Animal Resources, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

² Laboratory of Animal Science, Department of Agriculture and Animal Resources, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Correspondence: Brahima Traoré, Laboratory of Crop Protection, Department of Agriculture and Animal Resources, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny (INP-HB), P.O. Box 1313, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. Tel: 225-5910-4433. E-mail: brahimakolo.traore@yahoo.fr

Received: November 9, 2019

Accepted: December 13, 2019

Online Published: January 15, 2020

doi:10.5539/jas.v12n2p61

URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n2p61>

Abstract

The study was set to assess a complementary irrigation effect on seed cotton yields in the Northern Côte d'Ivoire where the cotton is the main cash crop. Firstly, the soil samples were collected from the surface down to 30 cm depth and analyzed. The soil was sandy and silty. So, 65 kg of 46%urea and 285 kg of NPKSB15-15-15-6-1 were applied for its correction. Secondly, in a complete randomized blocks, four tests were conducted, within those were T0 (no complementary irrigation and no crop protection products and fertilizers), T1 (no complementary irrigation, with crop protection products and fertilizers, the cotton cultivation ongoing practice in the Northern Cote d'Ivoire, therefore the reference), T2 (complementary irrigation, along with crop protection products and fertilizers), T3 (only complementary irrigation, without any crop protection products and fertilizers). Thirdly, the tests were replicated in 3 blocks. As a result, from T1 to T2, the plants heights, the plants density at harvest period, bolls number per plant and seed cotton yields were respectively 88.58±1.78 vs 96.08±1.78 cm (+8.47%) at day 73; 53,934±1,260.78 vs 67,593±1,260.78 plants per ha (+25.32%); 23.11±0.81 vs 26.39±0.81 bolls per plant (+14.19%) and 1,616.26±67.86 vs 2,657.77±67.86 kg/ha (+64.44%). Conversely, the complementary irrigation led to higher pest damages on bolls, because 13±2.2% of T2 bolls were attacked, while just 4.6±2.2% of T1 bolls were damaged by insects' pest. Looking for solutions linked to climate change effects, a complementary irrigation in cotton farms in the Northern Côte d'Ivoire could be profitable to the cotton growers. Nonetheless, the farmers should pay a great attention to the pest management.

Keywords: climate change, complementary irrigation, Cote d'Ivoire, pest, seed cotton yield

1. Introduction

From 1970 to 2005, the rainfalls have drastically decreased in Côte d'Ivoire Northern regions (Brou et al., 2005). Indeed, before 1970, all northern regions were watered with more than 1000 mm a year. Sadly, due to climate change, Boundiali and Bouna regions' rainfalls have respectively decreased from 1600-1800 mm to 1200-1400 mm and from 1000-1200 mm to 800-1000 mm (Brou et al., 2005). Since the rain regime is unimodal in these regions with a single peak in August (Goula et al., 2010; Kouadio et al., 2011), rainfalls reduction jeopardizes crops' yields. Furthermore, Pastori et al. (2019) stated that climate change effects are perceptible on crops' yields due to increased extreme weather events frequency and intensity. As observed by Pastori et al. (2019), developing countries' populations rely mainly on agricultural products to meet their daily needs. So, taking a careful look at cash crops in West Africa, cotton production is an important income activity (Martin et al., 2005). In countries like Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Tchad and Mali, seed cotton sales remain the main income source (FAO, 2018). For example, cotton cultivated lands were 2,313,422 ha in 2016, and 343,414 ha of them belonged to Côte d'Ivoire (PRPICA, 2017).

Unfortunately, far from seed cotton yields in Australia, China, Brazil and USA whose were respectively 5,500; 4,500; 3,800 and 2,700 kg/ha, in 2015; since 2000, seed cotton yields stagnated at 1,000 kg/ha in West African countries (FAO, 2018). Worst, PR-PICA (2017) reported an average yield below 1,000 kg/ha, similarly to Pakistan where the yield is about 713 kg/ha (Lakho et al., 2016). Nevertheless, In Cote d'Ivoire, these yields

were lower than vulgarized cotton varieties potentials, whose were between 1,826 and 1,984 kg per ha (CNRA, 2006). In fact, these poor cotton productions were the result of integrated effects such as seeds quality, high temperature, drought, field plant density and insects' attacks (Tariq et al., 2017). According to Yang et al. (2014), a correlation was found between crop yields and cotton plants' density, while other factors were in optimal levels. Precisely, cotton yield increased with nitrogen fertilizer to a maximum and then decreased, so an appropriate quantity should be used (FAO, 2018).

Consistently, plants' yields remain closely linked to certain micro-environmental factors such as temperature, light transmittance and relative humidity (Yang et al., 2014; Assouman et al., 2016; Tariq et al., 2017). So, according to Pettigrew (2010), early planting appears to need irrigation to achieve its best yields. Thus, dryland cotton producers should not adopt an early planting production strategy (Pettigrew, 2010). When yields' improvements depend on irrigation, producers rely on water mobilization and its control (Pettigrew, 2010; Assouman et al., 2016). Worrying about water need is justified, because its scarcity over the crop cycle could be a serious matter (Luo et al., 2015; Assouman et al., 2016; Pastori et al., 2019). That's why, water stress must be minimized (Bednarz et al., 2000; 2005). Because no literature document gives an overview on complementary irrigation in Northern Cote d'Ivoire, this study assumed that complementary irrigation could allow a significant increase in seed cotton yield. In details, the objectives were the follow-up of (1) the plants' density, (2) the bolls' number per plant, and (3) pests' attacks on bolls. Finally, the aggregate effects of these components on (4) seed cotton yields was evaluated.

2. Materials and Methods

2.1 Experimental Site and Irrigation Equipment

The experiment took place at Nidieou village in northern Cote d'Ivoire, located between 9°57' and 9°59' latitude North and 6°35' and 6°37' longitude West. In the aim to perform the complementary irrigation program, a 7 m deep and 1 m diameter borehole was dug nearby the plot. Then, a 1000 liters' tank located at 135 m far away from the borehole was installed at 2 m height from the ground. Following, using a solar pump, water was pumped from the well to fill the 1000 liters' reservoir. Finally, the complementary irrigation was performed with a 6 sprinklers ramp and the nozzle flow was set at 1 cubic meter per hour, under 2 bars pressure. Thus, it allowed 16.7 mm flow rate per hour. During the water stress periods, the experimental plots were watered twice a day, between 6 and 7 AM and after 5 PM, lasting for 7 min (Petersen & Gulik, 2009). In a strict program, the irrigation was done the day after reaching rainfall limit of 3 mm and/or after 3 days without rain (2). In fact, the daily evapotranspiration was 4 mm per day (Petersen & Gulik, 2009) (1). The 2017-year rainfall records on experimental place helped to define the growing season from June to October 2018. So, the sowing took place from 28 to 30 May 2018, because 80% of the useful rainy season generally covered the period from 25 May to 3 November (Goula et al., 2010; Kouadio et al., 2011).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (1)$$

where, ETC = Crop evapotranspiration, inch or mm; KC = Crop coefficient; ETO = Reference evapotranspiration for a grass reference, mm.

Each day, the ground remaining water was determined by removing the crop daily evapotranspiration and adding the effective precipitation or irrigation (Petersen & Gulik, 2009).

$$MSWDR = \text{Previous_Day_MSWDR} \times (ET_c \times PPT_e) \quad (2)$$

where, MSWDR = Remaining available water for plant growth, inch or mm; Previous day MSWD = Previous days maximum soil water deficit, inch or mm; PPTe = Daily effective precipitation, in or mm = $(PPT - 5) \times 0.75$.

Two rain gauges at 3 kilometers apart, one in village and the other one on the experimental plot, allowed daily surveys. The weather radar site downloaded on a Samsung android mobile phone helped to read the daily temperature, relative humidity, wind speed and atmospheric pressure. These data were used to estimate cotton plant daily water requirements (Petersen & Gulik, 2009; Milly & Dunne, 2016).

2.2 Seed and Fertilizer

Regarding the inputs, seed variety Y616C, received from an established cotton company in Cote d'Ivoire, were used for the crop year 2018-2019, lot number 209. In addition, mineral fertilizer used was NPKSB 15-15-15-6-1. Furthermore, some insecticides' treatments were carried out with authorized products by the Ministry of Agriculture through its plant protection department. The table 1 displays the herbicides and insecticides applied. Following PRPICA (2017) recommendations. Finally, the insecticide treatments were performed every 10 days

from day 35 to day 115 after germination.

Table 1. Herbicides and insecticides active components, and their doses per ha

Type	Active component and its content	Dose (L/ha)
Total herbicide	Glyphosate 360 g/L	3
Selective herbicide	Propaquizafop 100 g/L	0.8
Insecticide week 1	Emamectin 48 g/L + Acetamiprid 64 g/L	0.25
Insecticide week 2	Cypermethrin 36 g/L + Profenophos 300 g/L	0.5
Insecticide against boll worm 2nd generation	Indoxacarbe 240 g/L + Novaluron 80 g/L	0.2
Insecticide week 3	Acetamiprid 16 g/L + cypermethrin 72 g/L	0.5
Growth regulator	Mepiquat chloride 50 g/L	1

2.3 Experimental Design

The experimental design was based on 12 elementary plots of 300 m² (20 m × 15 m) each, in a randomized complete block design with 4 treatments and 3 replicates (Table 2) (Lakho et al., 2016).

Table 2. Experimental design display

Block 1	Block 3	Block 2
T ₁ ₁	T ₀ ₃	T ₀ ₂
T ₀ ₁	T ₁ ₃	T ₁ ₂
T ₃ ₁	T ₃ ₃	T ₂ ₂
T ₂ ₁	T ₂ ₃	T ₃ ₂

Note. T₀: No crop protection products and fertilizers, no irrigation; T₁: Crop protection products and fertilizers, no irrigation; T₂: Crop protection products and fertilizers, with irrigation; T₃: No crop protection products and fertilizers, with irrigation.

2.4 Soil Analysis and Fertilizer Corrections

The soil analysis helped to identify plant's nutrient requirements by knowing the soil type, pH and the various mineral components. Five samples were collected in May 2017 following the diagonal on one ha plot, at 30 cm deep. The samples were analyzed at the soil laboratory of National Polytechnic Institute F. H. B. The analysis results showed three basic parameters which were soil type, macronutrients and micronutrients components (Table 3a). According to Kouadio et al. (2018) conclusions, we may conclude that the plots were established on a sandy-silty soil. Indeed, there was a sand predominance for 74.35% (Table 3a). Therefore, due to this high sand content, this soil has a low retention capacity in exchangeable bases (Kouadio et al., 2018). Accordingly, regarding cotton growing conditions and recommendations (CNRA, 2006; Kouadio et al., 2018), cotton plant needs have been evaluated for fertilizers application (Tables 3b and 3c). Following, the quantities used per ha in T₁ and T₂ experimental plots were 280 kg for NPKSB-15.15.15.6.1 and 65 kg for urea-46% (Table 3c).

2.5 Sampling Method

In each plot, there were 25 lines separated by 80 cm; and on a single row 2 plants were separated by 30 cm; thus, a density of 83,333 plants per ha. The data were collected on 30 plants taken on 5 consecutive plants per row, using the sequential "diagonal" method (Michel et al., 2000; Nibouche et al., 2003) on each elementary plot. The surveys performed concerned vegetative growth, parasitic presence from day 30 after emergence, planting density and bolls production. Initially, the attacked bolls were counted by sampling 4 on 3 planting lines along the diagonal. After, the seed cotton production was estimated from 3 sub-plots of 4 planting lines over 3 meters diagonally per elementary plot, and then reported to yield per hectare (Nibouche et al., 2003). Importantly, officers from Cotton Company's management service, trained for this purpose, participated in parasitic observations and plants' density counting.

2.6 Statistical Analysis

The data were collected in triple and the statistical analyses were performed with XLSTAT, 2014 version, at 95% level of confidence. The least square means were separated according to Duncan's multiple range tests.

Table 3. Soil analysis results, chemicals' balances and fertilizers' application

(a) Analysis results

Items	Values	Items	Values
Clay (%)	12	pH KCl	4.7
Fine silt (%)	7	Mg ²⁺ (Cmol+/kg)	0.253
Coarse silt (%)	6.65	K ⁺ (Cmol+/kg)	0.074
Coarse sand (%)	52	Density	1.4
Fine sand (%)	22.35	Na ⁺ (Cmol+/kg)	0.09
Nitrogen (%)	0.03	CEC (Cmol+/kg)	3.5
Carbon (%)	0.34	Fe (ppm)	76
Assimilable phosphorus (ppm)	164	Mn (ppm)	89
Total phosphorus (ppm)	700	Cu(ppm)	0
Water pH	5.6	Zn(ppm)	0

(b) Soil chemical balances

Ratio	Value	Comments on results	Average level value (Kouadio et al., 2018)
C/N	11.33	Normal mineralization	9 < C/N < 12
Mg/K	3.42	Lower limit	3 < Mg/K < 25
Ca/Mg	2.65	Lower than minimal level	3 < Ca/Mg < 5
K/CEC (%)	2.11	Lower limit	K/CEC ≥ 2 %

(c) Fertilizer applications per hectare

Nutrients	Dry matter export	Needs identification		Urea-46% (65 kg) + NPKSB-15.15.15 .6.1 (280 kg)
	50 kg urea, 200 kg NPK	Parameters	Correction Factors	
N	53	Sandy-silty soil	1.3	71.9
P ₂ O ₅	30	Acid pH: 5.6	1.3	42
K ₂ O	30	Sandy-silty soil	1.4	42

3. Results and Discussion

3.1 Rainfalls From May to October 2017

The monthly average rainfalls on the experiment site were different from those of the entire zone. Generally, the rainfalls have been poor. For example, the rainfalls in the village fluctuated between the poorest 29.5 mm in October and the highest 369.25 mm in August. Similarly, on the experimental site, 29 mm in October (poorest) and 375.5 mm (highest) were recorded (Table 4). During this important vegetative period for cotton plant, rainfall totals were 996.7 mm in the village and 1,033.5 mm at the experimental site. Importantly, when Koné et al. (2017) collected the rainfalls data from 1993 to 2015, in cotton production zones, they reported a decrease from 330 to 280 mm (-15.15%) at Napié, and from 390 to 360 mm (-7.69%) at Tengrela. While, Koné et al. (2017) reported rainfalls between 326 and 396 mm in June and July on 2015, none of these performances has been observed on 2017. Thus, we may conclude that cotton production areas are becoming more and more dry, since the outputs were 168.7 in June and 143.85 mm in July in the village, and 172 mm in June and 153.2 mm in July on the experiment site. In reference to 320 mm (Koné et al., 2017), the rainfall decreases were about 149.65 mm [$320 - (168.7 + 172)/2$] in June and 171.47 mm [$320 - (143.85 + 153.2)/2$] in July. Nevertheless, August is still the rainiest month (Goula et al., 2010; Kouadio et al., 2011).

During the experiment, 7 water stress periods were identified. Facing this relative drought, complementary irrigations were necessary to overcome rainfalls shortage for cotton plant needs. Indeed, a severe water stress at a younger age can compromise a plant performance. For example, with irrigation reduction, *Acrocomia aculeata* seedlings' heights and stem diameters were reduced (Hernández et al., 2018). The 996 mm rainfall recorded was sufficient for cotton growth cycle. Konan et al. (2015) announced 700 mm for the water requirement, while Dekoula et al. (2018) mentioned 500 mm, depending on climatic zones and conditions. For a good vegetative development, the soil structure, its nutrients composition and the rainfalls frequency are all together important (Konan et al., 2015; Dekoula et al., 2018).

Table 4. Rainfalls, supplemental irrigations and ETP from May to October 2017

Observations	Periods						Totals
	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	
Zone rainfall (mm)	65.35	168.7	143.85	369.25	220	29.5	996.7
Experiment zone rain (mm)	67.8	172	153.2	375.5	236	29	1,033.5
Supplemental irrigations (mm)	4	7	14	0	0	0	25.0
ET _C (mm)	166	136.1	134.4	133.8	133.2	155.6	859.1
Rainy day count	5	11	11	17	8	2	54.0
Number of irrigations days	1	2	4	0	0	0	7.0

The limiting factor was the soil water reserve between two rains. Based on daily evapotranspiration, supplemental irrigations were computed and applied for 4, 7 and 14 mm in May, June and July, respectively. Supplemental irrigations had significantly affected the plants growth. Indeed, future climate scenarios simulations showed that the best cotton productions were obtained with supplemental water irrigation (Luo et al., 2015).

3.2 Vegetative Growth

The plant heights (Table 5) significantly depended on treatments at day 73. The outputs were 96.08±1.78; 88.58±1.78; 63.28±1.78 and 45.19±1.78 cm for T2, T1, T3 and T0, respectively. Thus, cotton plant average heights in T2 (96.08±1.78 cm) was significantly higher than other treatments ($p < 0.05$). In comparison to the ongoing cotton cultivation practices which consist in applying crop protection products and fertilizers, without any irrigation (T1: 88.58±1.78 cm), an improvement has been achieved with the complementary irrigations. In effect, the additional 7.5±1.78 cm gain, thus an additional growth of 8.5%, at T2 results (96.08±1.78 cm) have been obtained with crop protection products and fertilizers' application along with supplemental irrigations. That 8.5% height improvement from T1 to T2 was significant ($p = 0.0029$). Moreover, the need for plant protection treatments could not be overshadowed by complementary irrigation. Indeed, plots T2 got a higher average than T3 (63.28±1.78 cm). Consistently, the 32.8±1.78 cm gap from T3 to T2, which represented an additional growth of 51.83% was highly significant ($p < 0.0001$). Similarly, non-irrigated and untreated plots with crop protection products and fertilizers (T0) delivered highly poor averages (45.19±1.78 cm), 18.09±1.78 cm height reduction, thus 28.58% less than T3 ($p < 0.0001$). In the same way, this positive complementary irrigation impact on *Acrocomia aculeata* seedlings was reported by Hernández et al. (2018). Cotton production requires a good rainfall distribution during the critical phases. According to Yang et al. (2014), growth, water use characteristics and yields vary with precipitations regime.

Table 5. Plant heights at day73

Tests	LS mean±SE	Interactions	LS mean±SE
T2	96.08±1.78 ^a	B3*T2	99.80±3.08 ^a
T1	88.58±1.78 ^b	B1*T2	98.33±3.08 ^{ab}
T3	63.28±1.78 ^c	B1*T1	96.60±3.08 ^{ab}
T0	45.19±1.78 ^d	B1*T3	95.10±3.08 ^{ab}
Blocks	LS mean±SE	B2*T2	90.10±3.08 ^b
B1	83.80±1.54 ^a	B3*T1	89.37±3.08 ^b
B3	69.28±1.54 ^b	B2*T1	79.77±3.08 ^c
B2	66.77±1.54 ^b	B2*T3	49.83±3.08 ^d
		B2*T0	47.37±3.08 ^d
		B1*T0	45.17±3.08 ^d
		B3*T3	44.90±3.08 ^d
		B3*T0	43.03±3.08 ^d

Note. Means within a column, in tests, blocks or interactions, followed by different letters are statistically different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range tests, LS: least squares, SE: Standard error.

A fertility gradient has been observed at the blocks' level for the plant heights. Indeed, the 14.52±1.54 cm additional growth for block1 (83.80±1.54 cm) against block3 (69.28±1.54 cm) represented a 20.96% height improvement, and that gap was highly significant ($p < 0.0001$). In contrast, block2 with 66.77±1.54 cm has

similar achievements than block3 ($p = 0.2498$). Despite this block gradient, the overall results were consistent because each test was represented in each block.

3.3 Plant Density at Harvesting Season

During the sowing season, all plots had the same planting density of 83 333 plants per hectare. From an experimental plot to another, due to the combined effect of occasional drought stress and pest attacks, each single microenvironment changed from one to another. The table 5 shows the plant densities at the harvesting season. These outputs for T0, T1, T2 and T3 were respectively 20,139±1,260.78; 53,934.56±1,260.78; 67,593±1,260.78 and 34,895.56±1,260.78 plants per hectare. Admittedly, there were great variations between treatments (Table 6). In fact, T2 plots (67,593±1,260.78) which received a complementary irrigation had 25.32% higher plant density than the control areas T1 (53,934.56±1,260.78) ($p < 0.0001$). Also, that 6.7±1.3 plants per m² was the closest to the 6 plants per m² moderate density which led to the best yield (Khan et al., 2019). In contrast to Yang et al. (2014) conclusion, 3 plants per m² may lead to a poor soil coverage and a high competitiveness between weeds and cotton plants for available soil water.

Additionally, the plots under irrigation without crop protection products and fertilizers T3 (34,895.56±1,260.78) had 73.3% higher plant density than the controls T0 (20,139±1,260.78) ($p < 0.0001$). Accordingly, irrigation avoid water shortage stress (Hernández et al., 2018). Hence, complementary irrigation allowed a better seed germination and improved plants viability for 73.3% by reducing water stress (Bednarz, 2005; Hernández et al., 2018). Again, T1 results were 54.6% higher than those of T3 ($p < 0.0001$), thus emphasizing on the crop protection products and fertilizers importance in cotton cultivation.

Table 6. Plant density per ha at harvest period

Tests	LS mean±SE	Interactions	LS mean±SE
T0	20,139.00±1,260.78 ^d	T0*B1	19,719.67±2,183.73 ^g
T1	53,934.56±1,260.78 ^b	T0*B2	18,798.00±2,183.73 ^g
T2	67,593.00±1,260.78 ^a	T0*B3	21,899.33±2,183.73 ^{fg}
T3	34,895.56±1,260.78 ^c	T1*B1	58,378.00±2,183.73 ^{bc}
Blocks	LS mean±SE	T1*B2	50,591.67±2,183.73 ^d
B1	44,100.00±1,091.86 ^b	T1*B3	52,834.00±2,183.73 ^{cd}
B2	46,429.00±1,091.86 ^a	T2*B1	62,024.33±2,183.73 ^b
B3	41,892.58±1,091.86 ^b	T2*B2	75,738.33±2,183.73 ^a
		T2*B3	65,016.33±2,183.73 ^b
		T3*B1	36,278.00±2,183.73 ^e
		T3*B2	40,588.00±2,183.73 ^e
		T3*B3	27,820.67±2,183.73 ^f

Note. Means within a column, in tests, blocks or interactions, followed by different letters are statistically different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range tests, LS: least squares, SE: Standard error.

The block results shown significant different averages. For example, B2 averaged 5.28% and 10.83% higher than B1 and B3 respectively ($p = 0.0190$). Recalling back plants' heights, B2 highest plants' density (46,429.00±1,091.86) led to the poorest plants' heights (66.77±1.54 cm) (Table 5). Likewise, Khan et al. (2019) observed that cotton plants' density had a significant impact on plants' heights. Because the plants' density, the humidity and the temperature create a unique microenvironment, Khan et al. (2019) obtained better result of 6 plant per m², while the low density (3 plants per m²) and the dense density (9 plants per m²) gave unsatisfactory results. Early, Yang et al. (2014) concluded that 3 plants per m² may be the best density when the farm is covered area as a greenhouse.

3.4 Bolls Number per Plant

The bolls count per plant were 26.39±0.81; 23.11±0.81; 3.97±0.81 and 3.41±0.81 for T2, T1, T0 and T3, respectively (Table 7). So, the results varied tremendously. Like the growth, T2 outputs average was significantly higher than other treatments ($p = 0.0040$). In comparison to T1 (23.11±0.81), the bolls count per plant has been increased by 3.28±0.81 to reach T2 (26.39±0.81) and that 14.19% improvement was significant ($p = 0.0040$). Again, the plant protection products and fertilizers' applications importance were justified. After all, T2 had higher bolls count per plant than T3 (3.41±0.81) which was irrigated without further treatments. Of great concern, from T3 to T2, the 22.98±0.81 supplementary bolls represented a 673.9% increase, and the gap was highly

significant ($p < 0.0001$). Finally, the non-irrigated and untreated plots T0 (3.97 ± 0.81) and T3 got similar results ($p = 0.6258$).

The bolls count was positively correlated to the plants' density, like Zhi et al. (2016) concluded. At harvest, T2 and T1 had a density of $67,593.00 \pm 1,260.78$ and $53,934.56 \pm 1,260.78$ plants per ha, respectively. Subsequently, the boll counts per plant were 26.39 ± 0.81 and 23.11 ± 0.81 , respectively for T2 and T1. In fact, when the soil is not directly exposed to the sun light, the humidity lasts longer along with a less competition between weeds and cotton plants for the available ground water.

Table 7. Bolls number per plant at day73

Tests	LS mean \pm SE	Interactions	LS mean \pm SE
T0	3.97 ± 0.81^c	T2*B1	29.73 ± 1.40^a
T1	23.11 ± 0.81^b	T1*B1	26.20 ± 1.40^{ab}
T2	26.39 ± 0.81^a	T2*B2	25.67 ± 1.40^{ab}
T3	3.41 ± 0.81^c	T2*B3	23.77 ± 1.40^{bc}
Blocks	LS mean \pm SE	T1*B3	22.43 ± 1.40^{bc}
B1	15.49 ± 0.70^a	T1*B2	20.70 ± 1.40^c
B3	14.00 ± 0.70^{ab}	T0*B3	6.37 ± 1.40^d
B2	13.17 ± 0.70^b	T3*B2	3.77 ± 1.40^d
		T3*B3	3.43 ± 1.40^d
		T3*B1	3.03 ± 1.40^d
		T0*B1	3.00 ± 1.40^d
		T0*B2	2.53 ± 1.40^d

Note. Means within a column, in tests, blocks or interactions, followed by different letters are statistically different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range tests, LS mean: Least squares mean, SE: Standard error.

Nonetheless, the density cannot be increased over some limits, because the yield per boll decreases with an increasing cotton plants' density (Zhi et al., 2016). Afterward, the taller the cotton plants, more nodes there are, so more branches there are on the mainstem, therefore more bolls are produced (Bednarz et al., 2000). On day 73, T2 delivered the highest plants compare to T1 for 96.08 ± 1.78 and 88.58 ± 1.78 cm, respectively. An 8.5% height improvement at day 73, allowed 14.19% amelioration on bolls' count per plant at harvest. Even though, a low plant density leads to a high leaves' photosynthesis assimilation, the optimum density was higher than 3, but lower than 22 plants per m^2 on field (Bednarz et al., 2005). When the seed quality is no longer a matter, the seed cotton yields depend on good plants' densities, soil, ambient temperature, pest pressure and the rainfalls conditions (FAO, 2018).

3.5 Pest Damages on Cotton Bolls

Other than the water stress, seed cotton yields are seriously affected by pests' attacks on cotton plants' stems, leaves, bolls, and roots. The insects' pest counts for an important part (FAO, 2018). Bolls' pest damages percentage per plant varied with the tests (Table 8). The results were 4.6 ± 2.2 ; 13.0 ± 2.2 ; 27.8 ± 2.2 and 33.3 ± 2.2 for T1, T2, T3 and T0, respectively. From T1 to T2, the bolls' damage percentage increased by 182.61%, so showing a highly low pest impact on bolls in plots T1 compare to T2 ($p < 0.001$). Similarly, Koné et al. (2017) noted that permanent humidity allowed the development of *Jacobiella facialis* insects during the vegetative period. Moreover, *Helicoverpa armigera* bollworm can cause serious yields losses (Martin et al., 2005). Worst, these insects tend to develop a resistance for some insecticides (Tabashnik et al., 2002; Martin et al., 2005; Koné et al., 2017).

Without any agro pharmaceutical product application, T3 and T0 bolls were severely attacked by the pest insects, leading to 27.8 ± 2.2 and $33.3 \pm 2.2\%$ damages, respectively. The supplementary irrigation does increase bolls' damages percentage per plant. Because the bolls produce the seed cotton, in the aim to fight against bolls' insect pest such as *Helicoverpa armigera*, *Pectinophora gossypiella*, *Cryptophlebia leucotreta* and *Earias vitelli*, the world leading cotton producers, Australia, Brazil and China (Michel et al., 2000; FAO, 2018), are using the transgenic *Bacillus thuringiensis* cotton (Tabashnik et al., 2002; Yang et al., 2014; Luo et al., 2015).

Table 8. Damaged bolls' percentage per plant

Tests	LS mean±SE (%)	Interactions	LS mean±SE (%)
T1	4.6±2.2 ^a	T1*B3	2.8±3.6 ^a
T2	13.0±2.2 ^b	T1*B1	5.6±3.6 ^a
T3	27.8±2.2 ^c	T1*B2	5.6±3.6 ^a
T0	33.3±2.2 ^c	T2*B2	8.3±3.6 ^a
Blocks	LS mean±SE (%)	T2*B3	13.9±3.6 ^a
B1	18.8±1.9 ^a	T2*B1	16.7±3.6 ^a
B3	18.8±1.9 ^a	T3*B1	22.2±3.6 ^{ab}
B2	21.5±1.9 ^a	T0*B3	27.8±3.6 ^{ab}
Mean	19.7±1.9	T0*B1	30.6±3.6 ^{ab}
		T3*B2	30.6±3.6 ^{ab}
		T3*B3	30.6±3.6 ^b
		T1*B3	41.7±3.6 ^c

Note. Means within a column, in tests, blocks or interactions, followed by different letters are statistically different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range tests, LS mean: Least squares mean, SE: Standard error.

3.6 Seed Cotton Yield

Seed cotton yields exhibited a significant difference between tests (Table 9). The innovative approach T2 yield average (2,657.77±67.86 kg/ha) was 64.44% higher than T1 one (1,616.26±67.86 kg/ha). This 1,041.51 kg/ha yield increase from T1 to T2 was highly significant ($p < 0.0001$). Avoiding the water stress through a complementary irrigation contributed to a great improvement. Indeed, Bednarz et al. (2000) asserted that water stress avoidance and pest control allow a good seed cotton yield. Again, T1 yield average was 613.5% higher than T3's (226.51±67.86 kg/ha), because the pest control is a key point in cotton production (Tabashnik et al., 2002; Zhi et al., 2016; FAO, 2018). There was no significant difference between T3 and T0 ($p = 0.6372$). Definitely, these seed cotton yields confirmed that a complementary irrigation combined with crop protection products and fertilizers' treatment contributed to a significant improvement of seed cotton yield (Bednarz et al., 2005; Zhi et al., 2016). In the same way, with transgenic cotton plants, a complementary irrigation provided a very important benefit (Lakho et al., 2016; FAO, 2018).

Results at the blocks level showed that the average of yields differed significantly. Blocks 1 and 2 showed similar averages. In addition, blocks 1 and 2 averages were 25.45% higher than block 3, with respective probabilities ($p = 0.0068$) and ($p = 0.0180$).

Table 9. Seed cotton yield (kg/ha)

Tests	LS mean±SE (%)	Interactions	LS mean±SE (%)
T0	180.67±67.86 ^c	T0*B1	206.00±117.53 ^e
T1	1,616.26±67.86 ^b	T0*B2	184.00±117.53 ^e
T2	2,657.77±67.86 ^a	T0*B3	152.00±117.53 ^e
T3	226.51±67.86 ^c	T1*B1	1,990.77±117.53 ^c
Block	LS mean±SE (%)	T1*B2	1,574.33±117.53 ^d
B1	1,252.32±58.76 ^a	T1*B3	1,283.67±117.53 ^d
B2	1,252.33±58.76 ^a	T2*B1	2,546.30±117.53 ^b
B3	1,006.25±58.76 ^b	T2*B2	3,023.33±117.53 ^a
		T2*B3	2,403.67±117.53 ^b
		T3*B1	266.20±117.53 ^e
		T3*B2	227.67±117.53 ^e
		T3*B3	185.67±117.53 ^e

Note. Means within a column, in tests, blocks or interactions, followed by different letters are statistically different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range tests, LS mean: Least squares mean, SE: Standard error.

By avoiding water stress with a complementary irrigation during cotton production in the Northern Côte d'Ivoire, while applying fertilizers and a good pest management program, farmers can produce more than 2.5 metric tons

of seed cotton per ha. While, CNRA (2006) promoted the cotton varieties whose yields were between 1,826 and 1,984 kg per ha, due rainfalls' uncertainties and shortages, the experimental plots delivered 1,616.26±67.86 kg per ha based on the current cultivation practices, thus a loss of 209.74 (-11.48%) and 367.74 kg (-18.53%) per ha, respectively. A complementary irrigation could help to get closer to the 2.7 metric tons per ha cotton yields in US (FAO, 2018). Even if, this objective is still far from 3.8 metric tons and more per ha observed in Australia, Brazil and China (FAO, 2018), it should be kept in mind that these countries are using a transgenic *Bacillus thuringiensis* cotton variety (Tabashnik et al., 2002; Yang et al., 2014; Luo et al., 2015).

4. Conclusion

The complementary irrigation helped to avoid the water stress period and led to a significant yields' improvement. It contributed to reduce the plants mortality, thus preserved their density through all the vegetative period. Overall the seed cotton yields had been significantly improved by enhancing it from 1,616.26±67.86 to 2,657.77±67.86 kg/ha. So, regarding the adaptation to climate change effects, cotton growers in North Côte d'Ivoire should consider a complementary irrigation system because it allowed 64.44% seed cotton yield increase. But the complementary irrigation induced a high insects' attacks up to 8.4%. Thus, cotton growers should apply appropriate pesticides in addition to optimal fertilizers' doses.

References

- Assouman, S. F., Koné, M., & Koli, B. Z. (2016). Morphologie du paysage, variabilité pluviométrique et aménagement de la plaine alluviale de la Bagoé: L'exemple de Guinguerini au nord de la Côte d'Ivoire. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 1, 1-17.
- Bednarz, C. W., Bridges, D. C., & Brown, S. M. (2000). Analysis of cotton yield stability across population densities. *Agronomy Journal*, 92, 128-135. <https://doi.org/10.1007/s100870050015>
- Bednarz, C. W., Shurley, W. D., Anthony, W. S., & Nichols, R. L. (2005). Yield, quality, and profitability of cotton produced at varying plant densities. *Agronomy Journal*, 97, 235-240.
- Brou, Y. T., Akindes, F., & Bigot, S. (2005). La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: Entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahiers Agricultures*, 14(6), 533-540.
- CNRA (Centre National de Recherche Agronomique). (2006). Bien produire du coton en Côte d'Ivoire. *Fiche Technique Coton* (No. 1, p. 4).
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). *Economic importance of cotton in Burkina Faso* (p. 68). Background paper to the UNCTAD-FAO Commodities and Development Report 2017 Commodity Markets, Economic Growth and Development.
- Goula, B. T. A., Srohourou, B., Brida, A. B., Kanga, B. I., N'zué, K. A., & Goroza, G. (2010). Zoning of rainfall in Côte d'Ivoire. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(11), 6004-6015.
- Hernández, C. P., Imbuzeiro, H. A., Pimentel, L. D., Hamakawa, P. J., & Both, A. J. (2018). Morphological, physiological and nutritional effects of irrigation frequency on macaúba palm seedlings. *Journal of Agricultural Science*, 10(4), 24-36. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n4p24>
- Khan, A., Kong, X., Najeeb U., Zheng, J., Tan, D. K. Y., Akhtar, K., ... Zhou, R. (2019). Planting density induced changes in cotton biomass yield, fiber quality, and phosphorus distribution under beta growth model. *Agronomy*, 500(9), 1-18. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090500>
- Konan, J. N., Fofana, I., Silué, J. S., Diarrassouba, N., N'guessan, E., & Sangaré, A. (2015). Caractérisation agromorphologique précoce de quarante-huit lignées de cotonnier (*Gossypium hirsutum*) en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 11(5), 422-432. Retrieved from <http://www.afriquescience.info/5625392208aeabddac91c8c8.pdf>
- Koné, P. W. E., Ochou, G. E. C., Didi, G. J. R., Dekoula, S. C., Kouakou, M., Bini, K. K. N., ... Ochou, G. O. (2017). Evolution spatiale et temporelle des dégâts du jasside *Jacobiella facialis*, Jacobi 1912 (Cicadellidae) en comparaison avec la distribution de la pluviométrie au cours des vingt dernières années dans les zones de culture cotonnière en Côte d'Ivoire. *International Journal of biological and Chemical Sciences*, 11(3), 1190-1201. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.21>
- Kouadio, E. N., Koffi, E. K., Kouakou, B. J., Messoum, G. F., Brou, K., & N'guessan, D. B. (2018). Diagnostic de l'état de fertilité des sols sous culture cotonnière dans les principaux bassins de production de Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14(33), 221-238. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n33p221>
- Kouadio, K. Y., Aman, A., Ochou, A. D., Ali, K. E., & Assamoi, P. A. (2011). Rainfall Variability Patterns in

- West Africa: Case of Cote d'Ivoire and Ghana. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5, 1229-1238.
- Lakho, H. R., Soomro, A. A., Rashid, M. A. R., & Memon, S. (2016). Determination of general and specific combining ability of five upland cotton cultivars. *Journal of Agricultural Science*, 8(3), 106-111. <https://doi.org/10.5539/jas.v8n3p106>
- Luo, Q., Bange, M., Johnston, D., & Braunack, M. (2015). Cotton crop water use and water use efficiency in a changing climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 202, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.006>
- Martin, T., Ochou, G. O., Djihinto, A., Traore, D., Togola, M., Vassal, J. M., ... Fournier, D. (2005). Controlling an insecticide-resistant bollworm in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 409-411. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.11.006>
- Michel, B., Togola, M., Téréta, I., & Traoré, N. N. (2000). La lutte contre les ravageurs du cotonnier au Mali: Problématique et évolution récente. *Cahiers Agricultures*, 9, 109-115.
- Milly, P. C. D., & Dunne, K. A. (2016). Potential evapotranspiration and continental drying. *Nature Climate Change*, 6, 946-949. <https://doi.org/10.1038/nclimate3046>
- Nibouche, S., Beyo, J., & Gozé, E. (2003). *Mise au point d'une méthode d'échantillonnage rapide des chenilles de la capsule du cotonnier* (p. 5). Actes du Colloque, Garoua, Cameroun.
- Pastori, M., Dondeynaz, C., Minoungou, B., Udias, A., Ameztoy, I., Hamatan, M., ... Ronco, P. (2019). Identification of optimal agricultural development strategies in the West African sahel Mékrou transboundary River Basin. *Agriculture and Ecosystem Resilience in Sub Saharan Africa*, 729-746. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12974-3_33
- Petersen, A., & Gulik, T. W. V. D. (2009). *Agricultural sprinkler irrigation scheduling calculator* (p. 25)
- Pettigrew, W. T. (2010). Impact of varying planting dates and irrigation regimes on cotton growth and lint yield production. *Agronomy Journal*, 102(5), 1379-1387. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0172>
- PRPICA (Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique). (2017). *Rapport 10ème réunion bilan du Yamoussoukro-Côte d'Ivoire* (p. 24).
- Tabashnik, B. E., Dennehy, T. J., Sims, M. A., Larkin, K., Head, G. P., Moar, W. J., & Carrière, Y. (2002). Control of resistant pink bollworm (*Pectinophora gossypiella*) by transgenic cotton that produces *Bacillus thuringiensis* toxin Cry2Ab. *Applied and Environmental Microbiology*, 3790-3794. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3790-3794.2002>
- Tariq, M., Yasmeen, A., Ahmad, S., Hussain, N., Afzal, M. N., & Hasanuzzaman, M. (2017). Shedding of fruiting structures in cotton: Factors, compensation and prevention. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 251-262.
- Yang, G. Z., Luo, X. J., Nie, Y. C., & Zhang, X. L. (2014). Effects of Plant Density on Yield and Canopy Micro Environment in Hybrid Cotton. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(10), 2154-2163. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60727-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60727-3)
- Zhi, X., Han, Y., Li, Y., Wang, G., Du, W., Li, X., Mao, S., & Feng, L. (2016). Effects of plant density on cotton yield components and quality. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(7), 1469-1479. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61174-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61174-1)

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).