

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE  
Union-Discipline-Travail

\*\*\*\*\*

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

\*\*\*\*\*



**Institut National Polytechnique**

Félix Houphouët-Boigny



École Doctorale Polytechnique

N°d'ordre : 052/2020

## THESE DE DOCTORAT

Présentée pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FELIX HOUPHOUET-  
BOIGNY

Option: SCIENCES AGRONOMIQUES ET GENIE RURAL

Spécialité: Agrophysiologie et Modélisation agricole

par KOUASSI Désiré Anicet

**EVALUATION DE METHODES DE LUTTE INTEGREE CONTRE LES  
ADVENTICES EN RIZICULTURE PLUVIALE DANS UN CONTEXTE DE  
RISQUES CLIMATIQUES MAJEURS**

-----

Soutenue publiquement le 30 janvier 2020 devant le jury composé de

M. ZEZE Adolphe, Professeur Titulaire INP-HB	Président de jury
M. BROU Yao Casimir, Maître de Conférences INP-HB	Directeur de thèse
M. ZORO BI Irié Arsène, Professeur Titulaire UNA	Rapporteur
M. DIBI N'Da Hyppolite, Maître de Conférences UFHB	Rapporteur
M. KOUASSI Kouadio Henri, Maître de Conférences UJLOG	Examineur

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	vi
REMERCIEMENTS.....	vii
RESUME.....	ix
ABSTRACT.....	ix
ACRONYMES, SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
CHAPITRE 1: MONOGRAPHIE DU RIZ.....	7
1.1. Origine, distribution géographique et importance du riz.....	7
1.2. Systématique, caractéristiques botaniques et physiologiques du riz.....	8
1.2.1. Systématique et description du plan de riz.....	8
1.2.2. Stades de développement du riz.....	11
1.2.3. Ecophysiologie du riz.....	13
1.3. Bioagresseurs , maladies et défense de la culture du riz.....	16
1.3.1. Bioagresseurs.....	16
1.3.2. Maladies.....	18
1.4. Politique, production et distribution du riz en Côte d'Ivoire.....	19
1.4.1. Politique et institutions en matière de riziculture en Côte d'Ivoire.....	19
1.4.2. Consommation, importation et production du riz en Côte d'Ivoire.....	19
1.4.3. Itinéraire technique de la culture du riz en Côte d'Ivoire.....	21
1.4.4. Circuits de distribution du riz en Côte d'Ivoire.....	24
CHAPITRE 2 : POPULATION D' ADVENTICES EN RIZICULTURE PLUVIALE IVOIRIENNE, LUTTE CONVENTIONNELLE ET FONDEMENTS DE LA LUTTE INTEGREE.....	27
2.1. Population d'adventices en riziculture pluviale ivoirienne.....	27
2.2. Méthodes de lutte conventionnelle contre les adventices.....	28
2.2.1. Préparation du sol et technique du sol rappuyé.....	28
2.2.2. Désherbage manuel.....	28
2.2.3. Culture concurrentielle et paillage.....	29
2.2.4. Lutte chimique.....	29
2.2.5. Désherbage mécanique.....	30
2.3. Recherches scientifiques et fondements de la lutte intégrée.....	30

2.3.1. Recherches scientifiques et perspectives d'amélioration de la production.....	30
2.3.2. Fondements de la lutte intégrée contre les adventices en riziculture pluviale .....	33
<b>CHAPITRE 3 : CHANGEMENT CLIMATIQUE, RISQUES CLIMATIQUES ET</b>	
<b>EVALUATION DES SYSTEMES DE CULTURES .....</b>	<b>36</b>
3.1. Généralités sur le changement climatique et les risques climatiques .....	36
3.2. Changement climatique et conséquences en Côte d'Ivoire .....	38
3.3. Mesures de lutte contre le changement climatique : Adaptation et atténuation .....	41
3.4. Evaluation des systèmes de cultures .....	45
3.4.1. Évaluation par expérimentation agricole .....	46
3.4.2. Evaluation par expérimentation virtuelle : Modélisation agricole.....	46
3.4.3. Typologie des modèles de cultures.....	47
3.4.4. Modélisation appliquée au riz.....	48
<b>DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>50</b>
<b>CHAPITRE 4: ZONE D'ETUDE , SITE EXPERIMENTAL , MATERIELS ET</b>	
<b>DONNEES D'ETUDE.....</b>	<b>51</b>
4.1 Caractéristiques de la zone d'étude et du site expérimental .....	51
4.2. Matériels et données d'étude .....	53
4.2.1. Matériel végétal.....	53
4.2.2. Matériel technique .....	54
4.2.3. Matériel informatique.....	54
4.2.3. Données de l'étude.....	55
<b>CHAPITRE 5 : METHODOLOGIE .....</b>	<b>56</b>
5.1. Méthodologie de l'expérimentation au champ.....	56
5.1.1. Conduite des essais et dispositif expérimental.....	56
5.1.2. Paramètres agro-climatiques .....	58
5.1.3. Paramètres observés, mesurés et calculés sur la population d'adventices.....	58
5.1.4. Paramètres agronomiques observés, mesurés et calculés sur le riz .....	59
5.1.5. Évaluation économique des traitements .....	61
5.2. Méthodologie de l'identification des risques climatiques et de la détermination des	
périodes optimales de semis.....	62
5.2.1. Analyse de l'évolution, de la variabilité des indices climatiques et des probabilités	
d'occurrence des événements agro-climatiques .....	62
5.2.2. Détermination des dates de début, de fin et des longueurs de la saison de pluie .	63
5.2.3. Détermination des dates de faux départs et risques de faux départs .....	63

5.2.4. Détermination des séquences sèches et de l'Indice I de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial.....	64
5.2.5. Détermination de la période favorable de semis .....	65
5.2.6. Détermination de la période optimale de semis.....	66
5.3. Méthodologie de l'expérimentation virtuelle .....	67
5.3.1. Modèle de base : PYE .....	67
5.3.2. Modèle PYE-IWM .....	74
5.3.3. Essais utilisés pour le paramétrage des modèles PYE et PYE-IWM .....	77
5.3.4. Performance des modèles PYE et PYE-IWM .....	78
5.3.5. Mise en place des expérimentations virtuelles.....	79
<b>TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>80</b>
<b>CHAPITRE 6 : RESULTATS ET DISCUSSIONS DE L' EXPERIMENTATION AU CHAMP.....</b>	<b>81</b>
6.1 Résultats de l'expérimentation au champ .....	81
6.1.1. Conditions hydriques et de températures enregistrées au cours des essais.....	81
6.1.2. Effets des méthodes de lutte sur la population d'adventices.....	87
6.1.3. Effets des méthodes de lutte contre les adventices sur le riz pluvial .....	93
6.1.4. Évaluation économique des traitements .....	98
6.2 Discussions de l'expérimentation au champ .....	101
6.2.1. Conditions hydriques et de températures enregistrées au cours des essais.....	101
6.2.2. Richesse de la flore adventice et méthodes de lutte intégrée.....	102
6.2.3. Effets des méthodes de lutte intégrée sur la croissance des adventices.....	102
6.2.4. Effets des méthodes de lutte sur la phénologie du riz pluvial .....	103
6.2.5. Effets des méthodes de lutte sur la croissance du riz, le rendement en grains et ses composants.....	103
6.2.6. Evaluation économique des méthodes de lutte contre les adventices.....	104
<b>CHAPITRE 7 : RESULTATS ET DISCUSSIONS DE L' IDENTIFICATION DES RISQUES CLIMATIQUES ET DE LA DETERMINATION DES PERIODES OPTIMALES DE SEMIS .....</b>	<b>106</b>
7.1. Résultats de l' identification des risques climatiques et de la détermination des périodes optimales de semis .....	106
7.1.1. Analyse des températures.....	106
7.1.2. Analyse des dates de démarrage, de fin de la saison des pluies et de durée de la saison des pluies .....	112

7.1.3. Analyse de la pluviométrie .....	120
7.1.4. Analyse des séquences sèches .....	124
7.1.5. Analyse de l'Indice de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial suivant les dates de semis .....	130
7.1.6. Périodes favorable et optimale de semis du riz pluvial.....	136
7.2. Discussion sur l' identification des risques climatiques et sur la détermination des périodes optimales de semis.....	145
7.2.1. Hausse des températures .....	145
7.2.2. Raccourcissement de la saison des pluies.....	146
7.2.3. Pluviométrie et séquences sèches .....	147
7.2.4. Périodes optimales de semis et calage du cycle de culture .....	147
<b>CHAPITRE 8: RESULTATS ET DISCUSSIONS DE L'EXPERIMENTATION VIRTUELLE .....</b>	<b>150</b>
8.1 Résultats de l'expérimentation virtuelle.....	150
8.1.1. Paramétrage du modèle de base PYE .....	150
8.1.2. Paramétrage du modèle PYE-IWM .....	154
8.1.3. Évaluation des méthodes de lutte sous une longue série climatique.....	166
8.1.4. Évaluation économique des traitements après la simulation de dix années .....	168
8.1.5. Impact de la variabilité du stress hydrique sur le rendement du riz pluvial .....	172
8.1.6. Impact de la variabilité du cumul pluviométrique sur le rendement du riz pluvial.....	175
8.1.7. Impact de la variabilité du cumul pluviométrique sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices.....	176
8.2. Discussion sur l'expérimentation virtuelle.....	182
8.2.1. Choix et paramétrage du modèle de base PYE .....	182
8.2.2. Paramétrage du modèle PYE-IWM .....	183
8.2.3. Expérimentations virtuelles .....	184
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>187</b>
<b>PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES .....</b>	<b>212</b>

## DÉDICACE

§

*À mon Seigneur et Sauveur Jésus-Christ de Nazareth*

*À mon Père et à ma mère*

*À mon épouse*

§

*Luc 4:18-19:*

*"L'Esprit du Seigneur est sur moi, Parce qu'il m'a oint pour annoncer une bonne nouvelle aux pauvres; Il m'a envoyé pour guérir ceux qui ont le cœur brisé, Pour proclamer aux captifs la délivrance, Et aux aveugles le recouvrement de la vue, Pour renvoyer libres les opprimés, Pour publier une année de grâce du Seigneur".*

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de mes travaux de recherche dont les principaux résultats sont consignés dans le présent document, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes morales et physiques qui ont contribué à la réalisation de cette thèse.

Je voudrais remercier l'Ecole Doctorale Polytechnique (EDP) avec à sa tête Professeur YAO Kouassi Benjamin, pour m'avoir permis de m'inscrire en années de thèse dans ce prestigieux établissement qui, depuis son ouverture, écrit ses lettres de noblesse parmi les écoles doctorales de Côte d'Ivoire et d'Afrique.

Je voudrais également remercier très sincèrement Docteur BROU Yao Casimir, Maître de Conférences, Directeur de l'Unité Mixte de Recherche et d'Innovation en Sciences Agronomiques et Génie Rural de l'EDP, mon Directeur de thèse, qui a bien voulu me faire confiance en acceptant de me recevoir dans son équipe de recherche et en me confiant cet important sujet portant sur la lutte intégrée contre les adventices en riziculture pluviale dans un contexte de risques climatiques. Ses orientations, ses avis, sa rigueur dans le travail m'ont permis de cerner l'importance de la problématique. J'associe à ces remerciements tous les enseignants chercheurs du Département de Formation et Recherche Agriculture et Ressources Animales (DFR-ARA) pour leurs contributions. Je pense particulièrement au Docteur KOUAKOU Kouadio Paul Martial, à messieurs KOUAME Badou Jérémie et TIENEBO Eric Olivier.

Je remercie très sincèrement messieurs ZORO BI Irié Arsène, Professeur Titulaire à l'Université Nangui Abrogoua et DIBI N'Da Hyppolite, Maître de Conférences à l'Université Félix Houphouët-Boigny, pour avoir accepté d'évaluer ce travail en qualité de rapporteurs. Je remercie aussi messieurs ZEZE Adolphe, Professeur Titulaire à l'Institut Nationale Polytechnique Felix Houphouët-Boigny et KOUASSI Kouadio Henri, Maître de Conférences à l'Université Jean-Lorougnon-Guédé, qui ont été respectivement Président de jury et Examineur lors de la soutenance de thèse. La pertinence de leurs observations m'ont permis de rehausser la qualité de mon travail.

Je remercie monsieur N'GUESSAN Amani Antoine, Ethnobotaniste, pour son assistance dans l'identification de la flore adventice aussi bien au champ qu'au laboratoire.

Je remercie le CIRAD et le programme AGRICORA pour avoir bien voulu financer mon séjour et ma participation à la formation « bases de données et modélisation dynamique des cultures » à Bobo-Dioulasso. Je remercie tous les formateurs et particulièrement monsieur AFFHOLDER François pour avoir mis à ma disposition le modèle de culture PYE ainsi que ses codes sources dans le cadre du volet modélisation de mes travaux de recherche.

En tant que professionnel, j'ai pu bénéficier de l'attention de mon employeur et de mes collègues dans la réalisation de cette thèse. Je voudrais donc remercier le District Autonome de Yamoussoukro avec à sa tête le Docteur THIAM Augustin, Gouverneur du District, qui a autorisé mon inscription à l'Ecole Doctorale Polytechnique. Certainement que les résultats de mes travaux conforteront les autorités du District dans leur volonté de prendre en compte les enjeux du changement climatique dans l'élaboration des futurs plans de développement de la collectivité. Je remercie également mes collègues de service qui ont bien voulu m'apporter leur assistance notamment dans la saisie des données climatiques. Je remercie Mesdemoiselles KOSSONOU Affoué E. Mireille et KOUAMELAN A. Marie France, respectivement Sous-directrice du Développement et de la Planification et Secrétaire de Direction à la Direction du Développement et de la Planification. Je remercie également monsieur YAO kouakou Faustin, Chef du service Planification et Programmation.

Je remercie monsieur KOUAKOU Kouassi Bernard et son épouse, paysans semenciers à N'gattakro, qui ont mis gracieusement à ma disposition une parcelle pour mes expérimentations au champ. Leur expertise et leur savoir-faire agricole, issus de l'expérience acquise pendant de nombreuses années, m'ont été d'un apport inestimable.

Je remercie monsieur N'GATTA Kouakou Jean Luc, Informaticien, pour son appui lors de la manipulation des codes sources du modèle de base PYE.

Je remercie tous les doctorants de l'Unité Mixte de Recherche et d'Innovation en Sciences Agronomiques et Génie Rural pour leur collaboration. En particulier monsieur KOUASSI Gouha Firmin, Doctorant en Alimentation et Nutrition animale, qui a bien voulu m'assister lors de mes travaux en laboratoire.

Je remercie mes parents et particulièrement mon père pour son soutien financier et ses encouragements.

Je remercie mon épouse qui a supporté mes heures d'absence en raison de mes travaux de recherche et de mes activités professionnelles.

Enfin, je remercie tous ceux que je n'ai pu citer ici et qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

## RÉSUMÉ

Face aux enjeux de sécurité alimentaire et d'économie que représente le riz, la Côte d'Ivoire ambitionne d'atteindre l'autosuffisance alimentaire par l'accroissement de la productivité des filières rizicoles. Un accent est mis sur le riz pluvial qui contribue grandement à la production locale. Cependant, la productivité du riz pluvial est entravée par les adventices dont la maîtrise constitue un enjeu. A cet effet, la thèse a pour objectif d'évaluer huit méthodes de lutte contre les adventices dans la zone préforestière ivoirienne et d'analyser l'impact de la variabilité climatique sur la culture du riz pluvial et sur l'efficacité de la lutte intégrée. Pour ce faire, un essai a été installé en milieu paysan, suivant un dispositif en blocs complets randomisés avec 3 répétitions en 2016 et en 2017. Il a permis d'évaluer au champ les méthodes de lutte contre les adventices. Des analyses agro-climatiques ont conduit à l'identification des principaux risques climatiques et à la détermination des périodes optimales de semis. Une expérimentation virtuelle a permis d'évaluer les méthodes de lutte sous une longue série climatique et d'étudier l'impact de la variabilité du climat sur le rendement du riz et sur l'efficacité de celles-ci. Les résultats de l'essai ont indiqué que la flore adventice est composée de Poaceae (55%), d'adventices à feuilles larges (44%) et de Cyperaceae (1%) et que le traitement T3 : Herbicide de pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS a permis d'obtenir les meilleures performances. Les analyses agro-climatiques ont montré que la hausse des températures maximales, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies, les faux départs, les fins de saison de pluies de plus en plus précoces, le raccourcissement de la saison des pluies, la baisse du cumul pluviométrique saisonnier, les séquences sèches, les sécheresses saisonnières et les déficits hydriques constituaient les risques climatiques majeurs pour la culture riz pluvial et que la période du 22 mars au 26 avril représentait la période optimale de semis du riz de 120 jours et celle du 27 mars au 11 mai de celui de 100 jours. Pour ces périodes, l'expérimentation virtuelle a confirmé que le traitement T3 procurait les meilleures performances et que les variabilités de stress hydrique et de cumul pluviométrique entraînaient celles des rendements et de l'efficacité des méthodes de lutte avec des pertes de rendement. En dehors de ces périodes optimales de semis, la variabilité des rendements était plus forte, celle de l'efficacité des méthodes de lutte plus faible et les pertes de rendement plus importantes.

**Mots-clés** : riz pluvial, adventices, lutte intégrée, expérimentation virtuelle, risques climatiques, Côte d'Ivoire.

## **ABSTRACT**

Côte d'Ivoire's ambition in addressing economic and food security challenges is to achieve food self-sufficiency by increasing the productivity of the rice sectors. A special effort is focused on rainfed rice, which contributes greatly to local agricultural productivity. However, the productivity of rainfed rice is hampered by weeds which control is a critical issue. To this end, this thesis aims to evaluate eight weeds' management methods in the Ivorian pre-forest zone and to analyze the impact of climate variability on rainfed rice cultivation and on the effectiveness of weed management methods. To do this, a randomized complete blocks experimental design with 3 repetitions was set up in farmers' fields in 2016 and 2017. A virtual experiment was computed to evaluate weeds' management methods under a long climate series and to study the impact of climate variability on rainfed rice yield and on the efficiency of the weeds' management methods. The results of the field trial have indicated that the weed flora in the study area is characterized by Poaceae (55%), broadleaf weeds (44%) and Cyperaceae (1%) and that the T3 weeds' management method: Preemergence Herbicide (400 g/l Oxadiargyl) + weeding: 1 JAS + 21 JAS provides the best control performances. Agro-climatic analyses have shown that increases in maxima temperatures, late start of the rainy season, change in the start dates of the rainy season, false rainy season starts, increasingly early rainy seasons ends, shortening of the rainy season, decreasing seasonal rainfall accumulation, dry sequences, seasonal droughts and water deficits were the major climatic risks for rainfed rice cultivation and that the period from 22 March to 26 April represented the optimal sowing period for cultivars of 120 days crop cycle and 27 March to 11 May is the optimal sowing period for 100-day crop cycle cultivars. For these periods, virtual experimentation confirmed that the T3 weeds' management method provided the best control and that the variability of water stress and cumulative rainfall led to decreasing yields and effectiveness of the control methods. Outside of these optimal sowing periods, the variability of yields is higher, that of the effectiveness of control methods is lower and yield losses were more important.

**Keywords:** rainfed rice, integrated weed management, virtual experiment, Côte d'Ivoire pre-forest zone.

## **ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

**ADRAO** : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest

**ADERIZ** : Agence pour le Développement de la filière RIZ en Côte d'Ivoire

**AGRICORA** : Agriculture et gestion des risques climatiques : outils et recherches en Afrique

**ANARIZ-CI** : Association Nationale des Riziculteurs de Côte d'Ivoire

**APRAO** : Amélioration de la Production de Riz en Afrique de l'Ouest

**BBCH** : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie

**CDCI** : Compagnie de Distribution de Côte d'Ivoire

**CCNUCC** : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

**CEDEAO** : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

**CIRAD** : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**CNRA** : Centre National de Recherche Agronomique

**CRA** : Centre de Recherche Agronomique

**CSAO** : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest

**DGEMRH** : Directeur de la Gestion de l'Eau et de la Maintenance du Réseau Hydraulique

**DMN** : Direction Météorologique Nationale de Côte d'Ivoire

**FAO** : Food and Agriculture Organization (FAO)

**FIRCA** : Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles

**GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

**INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique

**IPM** : Integrated Pest Management

**IRAT** : Institut de Recherche d'Agronomie Tropicale

**IWM** : Integrated Weed Management

**JAICAF** : Association pour la Collaboration Internationale en matière d'Agriculture et de Forêts du Japon

**JAS** : Jours Après Semis

**JICA** : Agence Japonaise de Coopération Internationale

**MINESUDD** : Ministère de L'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable

**OCDE** : Organisation de Coopération et de Développement Economiques

**ONDR** : Office National de Développement de la Riziculture

**PEMED-CI** : Etudes monographiques et économiques des Districts de Côte d'Ivoire

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**PND** : Plan National de Développement

**PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement

**SDTM** : Société de Distribution de Toutes Marchandises

**SNDR** : Stratégie Nationale de Développement de la filière Riz

**SODEXAM** : Société d'Exploitation de Développement Aéroportuaire Aéronautique Météo

**STICS** : Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard

**UNFCCC** : United Nations Framework Convention on Climate Change

**USA** : United States of America

**NERICA** : Nouveau Riz pour l'Afrique

**PYE** : Potential Yield Estimator

**PYE-IWM** : Potential Yield Estimator-Integrated Weed Management

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1: superficie et pourcentage pour chaque mode de production du riz.....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 2 : effet de la température sur la croissance et le développement du plant de riz.....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 3: phases de croissance, stades agronomiques et coefficient cultural du riz pluvial... ..</b>	<b>65</b>
<b>Tableau 4 : paramètres des opérations de lutte contre la population d'adventices .....</b>	<b>76</b>
<b>Tableau 5 : composition de la flore adventice naturelle avec les notes moyennes de recouvrement des grands groupes d'adventices .....</b>	<b>87</b>
<b>Tableau 6 :test de Wilks.....</b>	<b>91</b>
<b>Tableau 7 : valeurs Moyennes des paramètres densadv, biomadv et nradv à 45 JAS et à 80 JAS sur les deux années d'étude suivant les méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz pluvial à cycle court (Nerica1). .....</b>	<b>92</b>
<b>Tableau 8:Test de Wilks .....</b>	<b>94</b>
<b>Tableau 9 : valeurs moyennes de la durée des différents stades phénologiques sur les deux années d'étude sous l'effet des méthodes de lutte intégrée contre les adventices en culture du riz pluvial (Nerica 1). .....</b>	<b>95</b>
<b>Tableau 10 : test de Wilks.....</b>	<b>95</b>
<b>Tableau 11: valeurs moyennes de la hauteur du riz, de l'Indice de surface foliaire, de la biomasse aérienne sèche, du nombre de talles, du poids de mille grains et du rendement grains sur les deux années d'étude sous l'effet des méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz pluvial (Nerica 1). .....</b>	<b>97</b>
<b>Tableau 12 : évaluation économique des différents traitements. ....</b>	<b>100</b>
<b>Tableau 13 : variabilité des températures maximales dans la zone d'étude (1980-2017).....</b>	<b>106</b>
<b>Tableau 14 : variabilité des températures minimales dans la zone d'étude (1980-2017).....</b>	<b>108</b>
<b>Tableau 15 : variabilité des températures moyennes dans la zone d'étude (1980-2017).....</b>	<b>110</b>
<b>Tableau 16 : variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies.....</b>	<b>113</b>
<b>Tableau 17 : caractéristiques des faux départs.....</b>	<b>114</b>
<b>Tableau 18 : variabilité des dates de fin de la saison des pluies dans la zone d'étude ...</b>	<b>115</b>
<b>Tableau 19 :variabilité des durées de la saison des pluies dans la zone d'étude.....</b>	<b>117</b>
<b>Tableau 20 : variabilité des cumuls pluviométriques annuels .....</b>	<b>120</b>

<b>Tableau 21 : variabilité des cumuls pluviométriques saisonniers.....</b>	<b>122</b>
<b>Tableau 22 : variabilité des séquences sèches maximales dans la zone d'étude .....</b>	<b>124</b>
<b>Tableau 23: constantes thermiques des différents stades phénologiques.....</b>	<b>150</b>
<b>Tableau 24: nombre de jours simulés et observés .....</b>	<b>151</b>
<b>Tableau 25 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément après calage du modèle de base PYE .....</b>	<b>152</b>
<b>Tableau 26 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément après le calage de la croissance aérienne des adventices .....</b>	<b>154</b>
<b>Tableau 27 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément après le calage du coefficient de l'effet sarclage et de sa durée d'action .....</b>	<b>156</b>
<b>Tableau 28 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément (IA) après le calage du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et de sa durée d'action .....</b>	<b>158</b>
<b>Tableau 29: valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément (IA) après le calage du coefficient de l'effet herbicide de post-émergence et de sa durée d'action.....</b>	<b>160</b>
<b>Tableau 30: valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément (IA) après le calage du coefficient de l'effet paillage et de sa durée d'action .....</b>	<b>162</b>
<b>Tableau 31 : valeurs des principaux paramètres utilisés dans les modèles PYE et PYE-IWM.....</b>	<b>165</b>
<b>Tableau 32 : rendements simulés de dix campagnes agricoles (2008-2017) suivant les traitements (semis du 6 avril) .....</b>	<b>167</b>
<b>Tableau 33 : évaluation économique des traitements après la simulation de dix campagnes agricoles.....</b>	<b>169</b>
<b>Tableau 34 : rendements potentiels (Y0) et Rendements avec stress hydrique (Yw) simulés à l'aide de PYE ( semis: 27 mars).....</b>	<b>173</b>
<b>Tableau 35 : rendements potentiels (Y0) et Rendements avec stress hydrique (Yw) simulés à l'aide de PYE ( semis: 13 septembre).....</b>	<b>173</b>
<b>Tableau 36 : statistiques des rendements potentiels et atteignables simulés avec PYE ( semis: 27 mars) .....</b>	<b>173</b>

<b>Tableau 37 : statistiques des rendements potentiels et atteignables simulés avec PYE ( semis: 13 septembre).....</b>	<b>174</b>
<b>Tableau 38 : statistiques du cumul pluviométrique et des rendements simulés suivant les traitements ( semis 22 mars).....</b>	<b>175</b>
<b>Tableau 39 : statistiques du cumul pluviométrique et des rendements simulés suivant les traitements (semis 13 septembre).....</b>	<b>175</b>
<b>Tableau 40 : statistiques de la Perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements ( semis 22 mars) .....</b>	<b>177</b>
<b>Tableau 41 : statistiques de la Perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements ( semis 13 septembre) .....</b>	<b>177</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : schéma d'un plant de riz (Lacharme, 2001).....	9
Figure 2 : phases de développement du riz (Wopereis <i>et al.</i> , 2008) .....	11
Figure 3: répartition régionale de la production du riz pluvial. De très grande zone de production (couleur foncée) à très petite zone de production (couleur claire) (JICA & JAICAF, 2013). .....	20
Figure 4 : zones agro-climatiques en Côte d'Ivoire (Yao <i>et al.</i> , 2013) .....	38
Figure 5 : zone d'étude et site expérimental.....	51
Figure 6 : diagramme ombrothermique du département de Yamoussoukro(Données Sodexam sur la période 1980-2017) .....	52
Figure 7 : évolution de la production du riz pluvial dans le département de Yamoussoukro ( Données d'enquête) .....	53
Figure 8 : schéma du dispositif expérimental de l'essai. ....	57
Figure 9 : modèle conceptuel de PYE ( Traoré, 2015). ....	68
Figure 10 : stades phénologiques et croissance de l'indice de surface foliaire (Garcia, 2015).....	69
Figure 11 : températures maximales et minimales journalières et pluviométrie pentadaire enregistrées au cours des essais de 2016 (a) et de 2017 (b). ....	82
Figure 12 : variations des températures maximales journalières au cours des essais de 2016 (a) et de 2017 (b)-test de rupture de Pétitt .....	83
Figure 13 : variations des températures minimales journalières au cours des essais de 2016 (a) et de 2017 (b)-test de rupture de Pétitt .....	84
Figure 14 : variations de la Réserve Facilement Utilisable (RFU) au cours des essais de 2016 (a) et de 2017(b) .....	86
Figure 15 : proportions des différents groupes d'adventices selon les traitements T0, Enherbé du semis à la récolte ; T2, 2 sarclages; T3, pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage;T4, pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage; T5, post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage;T6, post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7, sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). ....	90
Figure 16 : efficacités du Contrôle des Adventices (ECA) suivant les traitements. T0 : Enherbée du semis à la récolte ; T1 : Maintenu propre du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage;T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage;T5 : post-émergence (360g/l de Propanil +	

72g/l de Triclopyr) + sarclage ;T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr).....	93
Figure 17 : perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements. T0 : Enherbée du semis à la récolte ; T1 : Maintenu propre du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage; T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage; T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage ;T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). .....	98
Figure 18: évolution des températures maximales dans la zone d'étude. ....	106
Figure 19: évolution des températures maximales dans la zone d'étude-test de rupture de Pettitt .....	107
Figure 20 : anomalies standards des températures maximales -Indice de Lamb .....	107
Figure 21 : évolution des températures minimales dans la zone d'étude.....	108
Figure 22 : évolution des températures minimales dans la zone d'étude-test de rupture de Pettitt .....	109
Figure 23 : anomalies standards des températures minimales de la zone d'étude-Indice de Lamb.....	109
Figure 24 : évolution des températures moyennes dans la zone d'étude .....	110
Figure 25 : évolution des températures moyennes dans la zone d'étude-test de rupture de Pettitt .....	111
Figure 26 : anomalies standards des températures moyennes-Indice de Lamb.....	111
Figure 27 : évolution du nombre de jours ou des Tmax > 35°C pendant la saison agricole (Mars-Novembre) .....	112
Figure 28 : évolution des dates de début de la saison des pluies dans la zone d'étude .	113
Figure 29 : évolution des dates de début de la saison des pluies -Test de Pettitt.....	113
Figure 30 : anomalies standards des dates de début de la saison des pluies-Indice de Lamb.....	114
Figure 31: niveaux de risques de faux départs au cours de la période 1980-2017 .....	115
Figure 32: évolution des dates de fin de la saison des pluies dans la zone d'étude.....	116
Figure 33 : anomalies standards des dates de fin de la saison des pluies-Indice de Lamb.....	116
Figure 34 : évolution des durées de la saison des pluies dans la zone d'étude.....	117

<b>Figure 35 : anomalies standards des durées de la saison des pluies-Indice de Lamb ...</b>	<b>118</b>
<b>Figure 36 : comparaison entre la durée de la saison des pluies et celle du cycle du riz pluvial .....</b>	<b>119</b>
<b>Figure 37 : évolution des cumuls pluviométriques annuels dans la zone d'étude .....</b>	<b>120</b>
<b>Figure 38 : évolution des cumuls pluviométriques annuels dans la zone d'étude-Test de Pettit.....</b>	<b>121</b>
<b>Figure 39 : anomalies standards des cumuls pluviométriques annuels-Indice de Lamb.....</b>	<b>121</b>
<b>Figure 40 : évolution des cumuls pluviométriques saisonniers dans la zone d'étude ....</b>	<b>122</b>
<b>Figure 41 : anomalies standards des cumuls pluviométriques de la saison des pluies-Indice de Lamb.....</b>	<b>123</b>
<b>Figure 42 : comparaison des cumuls pluviométriques annuels et saisonniers avec les besoins en eau totaux du riz pluvial.....</b>	<b>123</b>
<b>Figure 43 : évolution des séquences sèches maximales annuelles dans la zone d'étude</b>	<b>125</b>
<b>Figure 44: anomalies standards des séquences sèches maximales annuelles-Indice de Lamb.....</b>	<b>125</b>
<b>Figure 45: évolution des séquences sèches maximales mensuelles (Mars-Novembre)...</b>	<b>126</b>
<b>Figure 46: probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours pour la période 1980-2017 dans la zone d'étude.....</b>	<b>127</b>
<b>Figure 47: évolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, à 7 et 10 jours, 30 jours après le semis du riz pluvial (période 1980-2017).....</b>	<b>129</b>
<b>Figure 48 : évolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5 et 7 jours durant la floraison du riz pluvial de 100 jours (période 1980-2017) .....</b>	<b>129</b>
<b>Figure 49: probabilité d'années où l'indice de satisfaction I est supérieur à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 120 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017.....</b>	<b>132</b>
<b>Figure 50: probabilité d'années où l'indice de satisfaction <math>I \geq</math> à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017. ....</b>	<b>133</b>
<b>Figure 51: probabilité d'années où l'indice de satisfaction <math>I \geq</math> à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 100 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017 .....</b>	<b>135</b>

<b>Figure 52: probabilité d'années où l'indice de satisfaction <math>I \geq</math> à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 100 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017 .....</b>	<b>135</b>
<b>Figure 53 : évolution de la probabilité d'occurrence des séquences sèches supérieures à 10 jours, 30 jours après le semis du riz pluvial (période 1980-2017).....</b>	<b>136</b>
<b>Figure 54 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. ....</b>	<b>137</b>
<b>Figure 55 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017.....</b>	<b>138</b>
<b>Figure 56 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des phases épiaison-floraison et maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. ....</b>	<b>139</b>
<b>Figure 57 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz pluvial de cycle moyen par l'intersection de trois courbes. ....</b>	<b>140</b>
<b>Figure 58 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz de cycle moyen par l'intersection de deux courbes. ....</b>	<b>140</b>
<b>Figure 59: évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique (<math>I \geq 95</math>) de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 100 jours au cours de la période 1980-2017. ....</b>	<b>141</b>
<b>Figure 60 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique (<math>I \geq 95</math>) de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 100 jours au cours de la période 1980-2017. ....</b>	<b>142</b>
<b>Figure 61 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des phases Epiaison-floraison et maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. ....</b>	<b>143</b>
<b>Figure 62 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz pluvial de cycle court par l'intersection de trois courbes. ....</b>	<b>144</b>
<b>Figure 63 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz de cycle court par l'intersection de deux courbes. ....</b>	<b>144</b>
<b>Figure 64 : simulation de la phénologie sur une parcelle soumise au témoin T1 (absence d'adventices du semis à la récolte) pour le riz semé le 22 mars 2017 .....</b>	<b>151</b>

<b>Figure 65 : simulation du LAI, de la biomasse (T.ha<sup>-1</sup>) et du rendement (T.ha<sup>-1</sup>) sur une parcelle soumise au traitement T1 (absence d'adventices du semis à la récolte) après paramétrage du modèle PYE pour le riz semé le 22 mars 2017(a) et le 13 septembre 2017(b).</b> .....	<b>153</b>
<b>Figure 66 : simulation du LAI, de la biomasse (T.ha<sup>-1</sup>) et du rendement du riz (T.ha<sup>-1</sup>) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices (T.ha<sup>-1</sup>) sur une parcelle soumise au traitement T0 (enherbée du semis à la récolte ) après calage de la croissance aérienne des adventices pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).</b> .....	<b>155</b>
<b>Figure 67 : simulation du LAI, de la biomasse (t.ha<sup>-1</sup>) et du rendement du riz (t.ha<sup>-1</sup>) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices (t.ha<sup>-1</sup>) sur une parcelle soumise au traitement T2 (2 sarclages : 14 JAS + 21 JAS) après calage de l'effet sarclage pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).</b> .....	<b>157</b>
<b>Figure 68 : simulation du LAI, de la biomasse (T.ha<sup>-1</sup>) et du rendement du riz (T.ha<sup>-1</sup>) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices (T.ha<sup>-1</sup>) sur une parcelle soumise au traitement T3 (pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS) après le calage du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et de sa durée d'action pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).</b> .....	<b>159</b>
<b>Figure 69 : simulation du LAI, de la biomasse (T.ha<sup>-1</sup>) et du rendement du riz (T.ha<sup>-1</sup>) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices (T.ha<sup>-1</sup>)</b> .....	<b>161</b>
<b>Figure 70 : simulation du LAI, de la biomasse(T.ha<sup>-1</sup>) et du rendement du riz (T.ha<sup>-1</sup>) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices sur une parcelle soumise au traitement T9 : Paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : - 1JAS+14JAS après le calage du coefficient de l'effet paillage et de sa durée d'action pour d'action pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).</b> .....	<b>163</b>
<b>Figure 71 : représentations graphiques des résultats des simulations de la campagne agricole de 2017 (semis le 06 avril 2017).</b> .....	<b>171</b>
<b>Figure 72 : comparaison entre la variabilité du rendement potentiel (a) et celle du rendement atteignable (b)</b> .....	<b>174</b>
<b>Figure 73 : comparaison entre la variabilité du rendement potentiel (a) et celle du rendement atteignable (b)</b> .....	<b>174</b>
<b>Figure 74 : cumul pluviométrique saisonnier, rendement grains et Perte Relative du Rendement suivant les traitements( semis le 22 mars) .....</b>	<b>179</b>
<b>Figure 75 : cumul pluviométrique saisonnier, rendement grains et Perte Relative du Rendement suivant les traitements( semis le 13 septembre) .....</b>	<b>181</b>

# **INTRODUCTION GENERALE**

Pays d'Afrique de l'ouest, situé entre les 4°30 et 10°30 de latitude nord et entre les 2°30 et 8°30 de longitude ouest, la Côte d'Ivoire a une économie qui repose essentiellement sur l'agriculture (Lambert *et al.*, 1991). Celle-ci participe à hauteur de 22% au PIB national (Kouakou *et al.*, 2015).

Au côté des cultures de rente que sont le caféier, le cacaoyer, le cotonnier, la canne à sucre, l'hévéa, le palmier à huile et l'anacardier, les cultures vivrières sont largement pratiquées avec l'igname comme principale production en terme de volume (Bakayoko *et al.*, 2017). Quatrième culture vivrière après le manioc et le bananier plantain, le riz constitue un cas particulier parmi les cultures vivrières. En effet, du fait de l'urbanisation galopante et de la paupérisation, le riz, qui représente environ 10 % de la production vivrière nationale est devenu l'aliment de base et l'aliment principal de la grande majorité des ivoiriens (Gala bi *et al.*, 2011; Kotchi *et al.*, 2018) et contrairement aux autres cultures vivrières, la demande locale est supérieure à la production nationale (Koffi & N'dri, 2006). Comparée à celle de 1960, la consommation globale du riz en Côte d'Ivoire a été multipliée par 10 en 2011, pour atteindre 1,43 Millions de tonnes. La tendance à l'augmentation de la consommation du riz est manifeste à l'échelle nationale et environ 50% de la demande intérieure ne sont pas couvertes par la production nationale (Gala bi *et al.*, 2011).

Pour combler ce déficit, la Côte d'Ivoire a recours à des importations massives de riz blanchi. En 2008, les importations de riz se chiffraient à 757 000 tonnes pour un coût de 209 milliards de F CFA et en 2012, elles se chiffraient à 952 600 tonnes pour un coût avoisinant les 250 milliards de F CFA (Gala bi *et al.*, 2011; ONDR, 2012). La crise alimentaire mondiale de 2007-2008, marquée par une forte hausse des prix des denrées alimentaires de base, a créé un sentiment d'insécurité alimentaire lié à une trop forte dépendance à l'importation et a montré que le défi de la sécurité alimentaire est devenu un enjeu majeur. Les pays africains n'ont pas été épargnés par ce phénomène qui a provoqué ce que l'on a appelé « les émeutes de la faim » dans certains pays dont la Côte d'Ivoire. Dans ce pays, le riz représente entre 6 et 8% du PIB et de ce fait, est un enjeu à la fois d'économie et de sécurité alimentaire (JICA & JAICAF, 2013).

Pour faire face à la menace de l'insécurité alimentaire, la Côte d'Ivoire a mis en place la Stratégie Nationale de Développement de la filière Riz (SNDR) en 2008. En 2011, le pays a publié la version révisée de cette stratégie dénommée "SNDR 2012-2020". L'accroissement de la production de riz par l'amélioration de la productivité des filières rizicoles est au cœur de cette stratégie dont l'un des objectifs majeurs est d'arriver à couvrir, par la production nationale, la totalité des besoins de consommation intérieure.

En Côte d'Ivoire, la riziculture est essentiellement pluviale et sa productivité est faible. En effet, la riziculture pluviale, bien qu'elle occupe 86% des surfaces exploitées et contribue à 80% de la production nationale de paddy, n'a qu'un rendement moyen de 0,8 T/ha contre 2,5T/ha pour la riziculture irriguée qui couvre uniquement 5% des surfaces exploitées et contribue pour 20% à la production nationale de paddy (JICA & JAICAF, 2013). C'est pourquoi la SNDR met un accent particulier sur l'accroissement de la productivité de la riziculture pluviale.

La productivité de la riziculture pluviale est fortement contrariée d'une part par les adventices qui peuvent entraîner des pertes de récoltes pouvant aller de 50 à 100% dans certains cas (Mishra & Singh, 2007; Rao *et al.*, 2007) et d'autre part par les aléas climatiques. En effet, les changements observés dans les moyennes de pluviométrie et de températures en Côte d'Ivoire témoignent de la vulnérabilité de l'agriculture ivoirienne face au changement climatique. L'on observe une réduction moyenne des hauteurs de pluie de 6% sur toute l'étendue du territoire ivoirien (Djè, 2014). L'on constate également, depuis les trois dernières décennies, la baisse effective de la pluviométrie, l'irrégularité des pluies et leur mauvaise répartition, le raccourcissement de la longueur des saisons pluvieuses, la hausse des températures, la persistance et la rigueur des saisons sèches, les inondations et les feux de brousse fréquents. Aussi, le climat projeté de la Côte d'Ivoire indique une hausse de la température de 3°C d'ici 2100 sur la majeure partie du pays allant du nord au sud et une baisse journalière de 8% des précipitations pendant la saison d'avril à juillet (Djè, 2014).

La modification des paramètres climatiques a occasionné des risques climatiques pour les cultures avec pour corollaire une inadéquation entre les paramètres météorologiques majeurs et les saisons culturales (Djè, 2014). Par ailleurs, les déficits de production constatés et amplifiés par les modifications climatiques mettent à mal la sécurité alimentaire des populations qui dépendent directement de ce qui est produit dans les exploitations agricoles pour couvrir leurs besoins en alimentation.

Pour atténuer l'effet des risques climatiques, l'on a recours, entre autres stratégies, à l'adaptation des périodes culturales aux nouvelles saisons agricoles et à l'introduction de variétés, plus compétitives vis-à-vis des adventices et plus résistantes au stress hydrique. C'est le cas du NERICA 1 introduit en Côte d'Ivoire en 1996 et utilisé comme mesure de lutte contre les risques climatiques (Akintayo *et al.*, 2008). Aussi, pour lutter contre les adventices, l'usage exclusif des herbicides, du fait de leurs impacts néfastes sur l'environnement et la santé, est de plus en plus décrié au profit de la mise au point, la validation et la vulgarisation de méthodes de lutte intégrée, permettant de répondre à la fois aux exigences du contrôle efficace des adventices et de protection de l'environnement (Aubertot *et al.*, 2005; Pingault *et al.*, 2009).

La validation, en milieu paysan, des méthodes de lutte intégrée s'avère nécessaire pour assurer leur adoption. Aussi, vu l'impact de plus en plus croissant de la variabilité climatique et des risques climatiques sur les cultures et sur les méthodes de lutte contre les adventices, la prise en compte de l'impact de ceux-ci devrait permettre d'assurer une plus grande efficacité et une plus grande durabilité des méthodes de lutte mises en œuvre contre les adventices.

Situé au cœur de la zone pré-forestière, le département de Yamoussoukro ( latitude 6.85 Nord ; longitude : 5.29 Ouest ; altitude : 214 m) est marqué par la variabilité climatique, notamment pluviométrique, qui se traduit par un déficit hydrique annuel compris entre 300 et 500 mm (MINESUDD, 2014). La production du riz pluvial dans cette zone, menacée par l'effet combiné des adventices et du changement climatique, est en perte de vitesse et les producteurs désemparés abandonnent progressivement la culture pour se tourner vers la riziculture irriguée. Cela est favorisée par le programme d'aménagement pour la création d'exploitations irriguées mis en œuvre par le Gouvernement dans la région (Brou *et al.*,2005).

Considérée comme zone de faible production de riz pluvial (JICA & JAICAF, 2013) , peu d'études portant sur l'évaluation de la lutte intégrée contre les adventices en riziculture pluviale y ont été menées et celles qui tiennent compte de l'impact de la variabilité climatique et des risques climatiques sur cette lutte sont quasi-inexistantes. La mise au point et la validation de telles méthodes de lutte permettraient d'y relancer la production du riz pluvial aux côtés de celle du riz irrigué. Cette problématique appelle quatre questions principales de recherche : une lutte intégrée contre les adventices en riziculture pluviale peut-elle être efficace et rentable dans la zone d'étude ? Au vu de la variabilité climatique de la zone d'étude, quelles sont les risques climatiques encourus par la culture du riz pluvial ? Quelles sont les périodes optimales de semis susceptibles d'atténuer l'effet de ces risques climatiques ? Quel est l'impact de la variabilité climatique de la zone d'étude sur la culture du riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte intégrée ?

Les quatre hypothèses de recherche qui sous-tendent ces questions sont les suivantes :

- une lutte intégrée efficace et rentable contre les adventices en riziculture pluviale peut être mise en œuvre dans la zone d'étude ;
- il existe, dans la zone d'étude, des risques climatiques qui pourraient compromettre la culture du riz pluvial et contrarier l'efficacité de la lutte intégrée contre les adventices ;
- il existe, dans la zone d'étude, des périodes optimales de semis qui pourraient atténuer l'effet des risques climatiques, favoriser la culture du riz pluvial et renforcer l'efficacité de la lutte intégrée contre les adventices;

- la variabilité climatique de la zone d'étude impacte négativement la culture du riz pluvial et entrave l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices.

L'objectif général de l'étude est de contribuer à améliorer la productivité du riz pluvial dans la zone préforestière de la Côte d'Ivoire par une lutte intégrée contre les adventices.

Les quatre objectifs spécifiques qui en découlent sont :

- déterminer, au champ, une méthode efficace et rentable de lutte intégrée contre les adventices;
- identifier les risques climatiques susceptibles de compromettre la culture du riz pluvial et d'entraver l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices ;
- déterminer les périodes optimales de semis, susceptibles d'atténuer l'effet des risques climatiques, de favoriser la culture du riz pluvial et l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices ;
- déterminer, à l'aide d'un modèle ad hoc de culture, une méthode efficace et rentable de lutte intégrée contre les adventices ainsi que l'impact de la variabilité climatique sur la culture du riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte intégrée.

Le présent document, qui synthétise les travaux menés en vue de répondre aux questions de recherches, de vérifier les hypothèses de travail et d'atteindre les objectifs assignés, est subdivisé en trois grandes parties. La première présente la synthèse bibliographique. La seconde décline de façon détaillée la méthodologie utilisée pour mener à bien ce travail. La troisième et dernière partie expose et discute les résultats obtenus.

**PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **CHAPITRE 1: MONOGRAPHIE DU RIZ**

### **1.1. Origine, distribution géographique et importance du riz**

Le riz est une Monocotylédone appartenant à la famille des Poaceae et à la tribu des Oryzées et du genre *Oryza*. Ce genre comporte 23 espèces dont deux sont cultivées : *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* (Megan et McCouch, 2007). *Oryza glaberrima* est née dans la boucle du Niger avant de se propager vers les côtes de Guinée Bissau, Zambie et Sénégal, tandis qu' *Oryza sativa* est d'origine asiatique et se distingue en deux types : Indica et Japonica (Angladette, 1966).

Aujourd'hui, la production du riz est essentiellement asiatique. Cette région assure toujours plus de 90% de la production mondiale, loin devant l'Amérique du Sud (3,2%) et l'Afrique (2,8%). Cette production en paddy est détenue par les cinq premiers producteurs (Chine, l'Inde, l'Indonésie, le Bangladesh et le Vietnam). Selon la FAO, les vingt-six (26) plus grands pays producteurs du monde réalisent une production comptant pour plus de 96% de la production mondiale du riz. On note que dix-huit (18) pays sont localisés dans le Sud, le Sud-Est et l'Est de l'Asie. Les huit autres pays restants (Brésil, USA, Russie, Egypte, Madagascar, Colombie, Iran, Nigeria), produisent, ensemble, moins de 6% du riz mondial. En Afrique, l'Egypte est le premier pays producteur de riz suivi du Nigeria et de Madagascar. En Afrique de l'Ouest, le Nigeria est le plus grand producteur de riz suivi de la Côte d'Ivoire et de la Guinée avec respectivement 48 %, 17 % et 10 % de la production totale de la région (JICA & JAICAF, 2013).

Le riz constitue l'aliment de base de 3,23 milliards de personnes, soit plus de la moitié de la population mondiale (Folefack, 2014). Deuxième culture mondiale après le maïs, le riz contribue à plus de 20% à la fourniture mondiale en calorie consommée. Plus de deux milliards d'habitants en Asie y tirent 80% de leur calorie. En Europe et en Amérique du Nord, le riz a une importance croissante sur le marché en tant que denrée alimentaire (JICA & JAICAF, 2013). Le continent africain est devenu l'un des principaux pôles d'importation de riz avec environ le quart des importations mondiales à cause de sa faible production qui atteint à peine 1,5% de la production mondiale. En Afrique de l'ouest, la demande en riz n'a pas pu être satisfaite, ce qui se traduit par une augmentation de 400% des importations du riz au cours des 25 dernières années (JICA & JAICAF, 2013).

Aliment de base d'un grand nombre de populations, le riz nourrit plus de la moitié de la population mondiale. C'est la plus importante culture alimentaire des pays en développement. Sa consommation dépasse 100 kg/habitant/an dans de nombreux pays d'Asie. Elle est en moyenne de 70 kg dans les Caraïbes, de 45 kg en Amérique latine, de 30 kg en Afrique subsaharienne et de 60 kg en Afrique de l'Ouest. Dans beaucoup de pays en développement, la

disponibilité du riz est un facteur de sécurité alimentaire et de stabilité sociale et politique, comme l'a révélé la crise alimentaire de 2008. Cela est particulièrement vrai en Afrique subsaharienne où l'écart entre la consommation de riz et sa production locale était de près de 11 millions de tonnes en 2009, ce qui rend cette région, première importatrice mondiale, très sensible aux variations des cours mondiaux et très vulnérable aux aléas climatiques qui impactent la production ou aux décisions politiques des trois premiers exportateurs que sont l'Inde, le Viet Nam et la Thaïlande. (Ahmadi *et al.*, 2013).

Le riz est cultivé sur plus de 165 millions d'hectares, pour l'essentiel par des petites exploitations familiales. En Asie, où se trouvent plus de 90 % des superficies mondiales, la production est assurée par quelque 200 millions de riziculteurs disposant chacun de moins de 1 hectare. La riziculture mobilise une part très importante des ressources dédiées à l'agriculture. En Asie, la riziculture consomme 80 % des ressources en eau d'irrigation. Au niveau mondial, la production du riz utilise environ 20 % des engrais azotes. En Chine, premier producteur mondial de riz, les pesticides représentaient, en 1997, 7,3 % du coût de production pour le riz, contre 3,2 % pour le blé et 2,4 % pour le maïs (Ahmadi *et al.*, 2013).

## **1.2. Systématique, caractéristiques botaniques et physiologiques du riz**

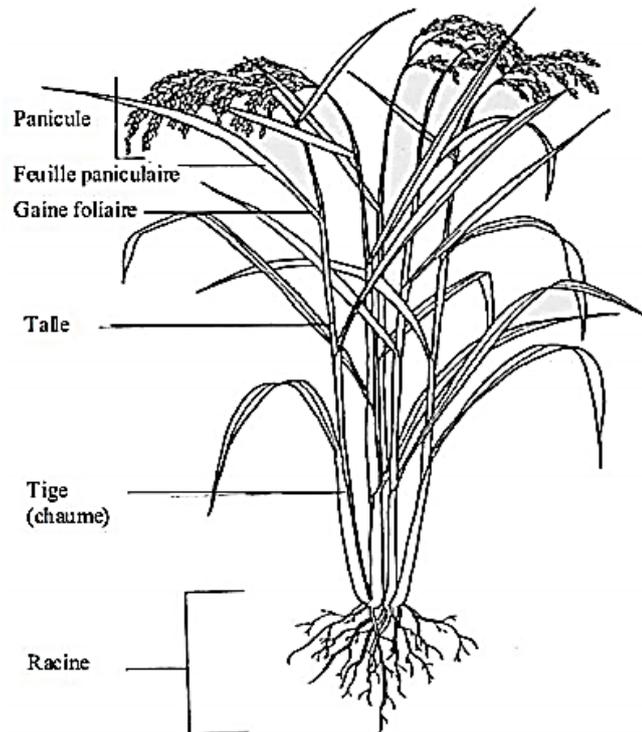
### **1.2.1. Systématique et description du plan de riz**

Le riz est une Monocotylédone appartenant à la famille des Poaceae et à la tribu des Oryzées et du genre *Oryza*. Le genre comporte 23 espèces dont deux sont cultivées : *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* (Megan et McCouch, 2007).

Le riz est une graminée annuelle à tige ronde, creuse, à feuilles plates et à panicule terminale. C'est une plante très plastique qui pousse aussi bien en condition inondée que non-inondée.

Le plant de riz (Figure 1) se divise en deux principales parties :

- une partie végétative composée des racines, de la chaume ou tige et des feuilles ;
- une partie reproductive constituée de la panicule qui porte les épillets.



**Figure 1 : schéma d'un plant de riz (Lacharme, 2001)**

Le système racinaire du riz assure les fonctions d'ancrage, d'absorption et de stockage de l'eau et des éléments minéraux. Il est de type fasciculé et peu profond lorsque la ressource hydrique n'est pas limitante (Yoshida, 1981). Les racines présentent un aspect fibreux et sont de deux types : les racines embryonnaires, issues de la radicule et les racines secondaires. Les racines embryonnaires atteignent une longueur maximale de 15 cm et ne survivent pas au-delà du stade sept feuilles (Yoshida, 1981). Les racines secondaires, appelées aussi racines adventives, sont mises en place pour assurer l'autonomie nutritionnelle de la plante vis-à-vis des réserves du grain germé. L'on peut dénombrer entre cinq et 25 racines adventives au niveau de chaque nœud basal. Ces racines adventives sont mises en place dès avant le tallage et atteignent une biomasse maximale pendant la phase reproductive. Un pied de riz peut porter jusqu'à 2 000 racines dont chacune porte entre 10 et 30 radicules avec des poils absorbants. La profondeur d'enracinement et l'abondance du chevelu racinaire sont inversement proportionnelles au degré d'humectation du sol. Ainsi, en riziculture irriguée, les racines sont concentrées dans les 40 premiers centimètres du sol alors qu'en riziculture pluviale, les racines peuvent explorer le sol jusqu'à une profondeur de 1 m (Yoshida, 1981).

Le système caulinaire du riz est formé de tiges cylindriques disposées en touffes généralement dressées (Figure 1). La hauteur de la tige peut varier entre 50 et 150 cm et même atteindre 6 m

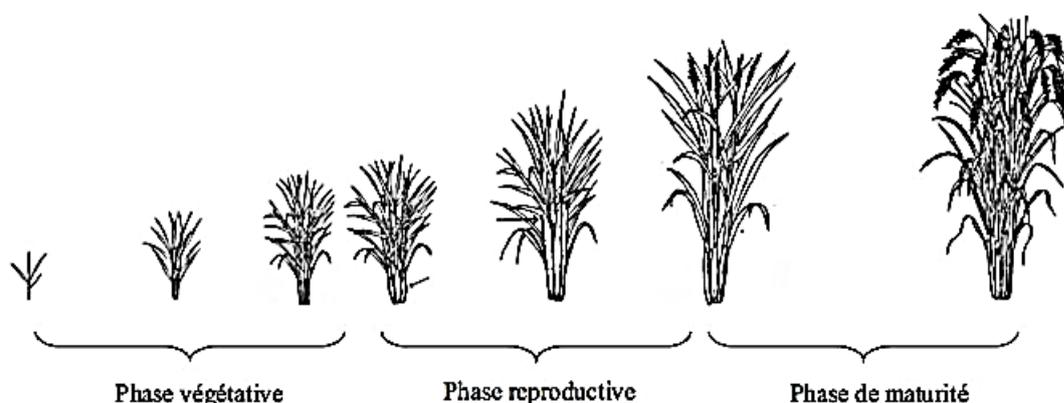
chez les variétés flottantes (Angladette, 1966). La coloration de la tige peut varier suivant la variété et le stade de végétation. Chaque tige ou chaume est formée d'une succession de nœuds pleins et d'entre-nœuds creux. Les nœuds constituent la zone d'insertion des feuilles sur la tige et chacun porte un bourgeon qui peut se différencier en tige secondaire. Chaque entre-nœud est recouvert par la gaine de la feuille issue du nœud directement inférieur. La longueur de l'entre-nœud est fonction de sa position sur la tige : elle est plus courte à la base et plus longue au sommet de la tige. La taille de l'entre-nœud joue un rôle majeur dans la résistance des plants de riz à la verse. Des entre-nœuds plus courts confèrent à la plante une plus grande résistance à la verse. Cette fonction mécanique de la tige est aussi modulée par son diamètre, sa robustesse et sa hauteur. La tige assure par ailleurs le transport de l'eau et des éléments nutritifs ; elle est le conduit d'approvisionnement des racines en air. Au cours de la phase végétative, des bourgeons des nœuds inférieurs de la tige principale (ou brin maître) donnent naissance selon un ordre alternatif à d'autres tiges appelées talles secondaires : c'est le tallage. Les talles de premier ordre donnent naissance aux talles de second ordre qui éventuellement, à leur tour, donnent des talles de troisième ordre. En définitive, la touffe de riz est constituée de l'ensemble des talles produites par un plant de riz. Le nombre de talles produites au stade fin tallage (entre 3 et 60 par touffe) est une caractéristique variétale, mais elle dépend aussi des conditions et pratiques culturales. Pendant la phase reproductive du riz, chacune des talles fertiles porte à son sommet une panicule (Wopereis *et al.*, 2008).

Les feuilles de riz sont sessiles et disposées de façon alterne le long de la tige (Figure 1). Chaque nœud de la tige porte une seule feuille. La dernière feuille d'où émerge la panicule est appelée feuille paniculaire ou feuille drapeau. Une tige de riz produit au cours de son cycle végétatif un total de 10 à 20 feuilles dont 5 à 10 seulement vivent et les autres se dessèchent au fur et à mesure du développement de la plante (Yoshida, 1981). Au sein d'une touffe de riz, la talle primaire ou brin maître développe un plus grand nombre de feuilles par rapport aux autres talles (Lacharme, 2001). Le limbe, étendu et lancéolé est la partie de la feuille qui assure l'essentiel de l'activité photosynthétique. Sa longueur varie entre 30 et 100 cm et sa largeur est comprise entre 5 et 25 mm (Angladette, 1966). En fonction de la variété, le port du limbe peut être érigé, oblique ou retombant. Ce port joue un rôle dans la hauteur de la touffe de riz et dans l'interception des rayons solaires. La gaine de la feuille entoure la tige et contribue à sa protection. Pendant les premiers jours de végétation, la tige est essentiellement constituée par la gaine foliaire. A la zone de jonction entre la gaine et le limbe se trouve une paire de lamelles de 2 à 5 mm en forme de croissant appelées auricules. Les auricules sont garnies de poils et sont supplantées par une membrane triangulaire, la ligule. Le riz est la seule graminée qui possède à la fois la ligule et

l'auricule, ce qui permet de le distinguer des mauvaises herbes, au stade plantule. Les caractéristiques morpho-métriques des composantes de la feuille de riz dépendent de l'espèce et même de la variété (Lacharme, 2001).

### 1.2.2. Stades de développement du riz

Tout le cycle végétatif du riz se décompose en 10 stades de croissance ( Meier, 2001; Kouakou, 2017 ). Stade 0 : germination à l'émergence; Stade 1 : plantule; stade 2 : tallage; stade 3 : élongation du chaume; stade 4 : initiation paniculaire; stade 5 : montaison (développement paniculaire); stade 6 : floraison; stade 7 : grain laiteux; stade 8 : grain pâteux et stade 9 : grain dur. ( Figure 2).



**Figure 2 : phases de développement du riz (Wopereis *et al.*, 2008)**

**Germination (stade 0):** La germination, c'est le retour en activité de la graine. L'embryon, en état de vie latente au cours du stockage, germe dès qu'il rencontre une humidité suffisante et une température favorable (optimum : 20 à 35 °C). L'émergence se matérialise soit par l'apparition du coléoptile, d'où sortira la première feuille (condition aérobique) soit par l'apparition de la radicule, la première racine (condition anaérobique). Le stade germination correspond donc à la période comprise entre l'apparition du coléoptile ou de la radicule et l'émergence de la première feuille.

**Plantule (stade 1):** C'est la période qui suit la germination. Pendant cette période, la jeune pousse se nourrit essentiellement des réserves de la graine (14 jours environ). Elle poursuit la production de feuilles au rythme d'une feuille tous les 3 ou 4 jours. Le stade plantule correspond à la période comprise entre l'émergence de la première feuille et l'apparition de la cinquième feuille. Durant ce stade, la plantule produit également des racines. C'est un stade critique au cours duquel la plante est très fragile.

**Tallage (stade 2):** C'est le moment où la jeune plantule commence à produire des talles. Le stade tallage démarre avec l'apparition de la cinquième feuille. L'accroissement numérique des talles se poursuit jusqu'au tallage maximum. Cette période est appelée phase de tallage. On assiste ensuite à une dégénérescence de certaines talles et à une stabilisation du nombre de talles.

**L'élongation des entre-nœuds (stade 3) :** Vers la fin de la phase de tallage, la plante commence à allonger ses entre-nœuds. Cela se traduit par une augmentation de la taille de la plante.

**L'initiation paniculaire (IP) (stade 4) :** Ce stade marque la naissance de la panicule. La jeune panicule qui émerge à l'intérieur et à la base du dernier nœud, est matérialisée d'abord par une petite excroissance en forme de cône plumeux d'1 à 1,5 mm, seulement visible en faisant une dissection de la tige. En réalité, le cône est seulement visible (à l'œil nu) à peu près une dizaine de jours après sa naissance. Ce stade de développement de la plante est appelé initiation paniculaire. A ce stade, le nombre de grains par panicule est déterminé. Pour les variétés précoces, le tallage maximum, l'élongation des entre-nœuds et l'initiation paniculaire ont lieu presque simultanément.

**Le développement de la panicule (stade 5) :** Ce stade est caractérisé par un gonflement à la base de la feuille paniculaire. Ce gonflement est dû à une montée de la panicule à l'intérieur de la tige. Après l'initiation, la panicule se développe et progresse vers le haut de la tige. Cela occasionne un gonflement de la tige, appelé montaison. Les différents organes de la fleur se développent et la panicule poursuit sa croissance pour atteindre sa taille définitive avant sa sortie (épiaison).

**Épiaison et floraison (stade 6) :** L'épiaison (apparition de l'épi) est caractérisée par l'émergence de la panicule à la base de la feuille paniculaire. L'épi met une à deux semaines pour sortir complètement de la tige. La floraison se réfère à l'ouverture de la fleur et à la pollinisation qui s'ensuit. Cette ouverture a généralement lieu chez le riz entre 9 h et 11 h du matin. Dès l'ouverture des glumelles, les étamines se dressent et du fait de la température ambiante, les anthères se dessèchent et libèrent les grains de pollen qui tombent sur les stigmates, puis sur l'ovaire où la fécondation a lieu. Les deux glumelles se referment ensuite. L'épiaison est suivie, trois jours après, de la floraison et le processus se poursuit progressivement jusqu'à la sortie complète de la panicule.

**Grain laiteux (stade 7) :** Après la fécondation, l'ovaire se gonfle et le caryopse se développe pour atteindre sa taille maximale au bout de sept jours. Le contenu du grain (caryopse) est d'abord aqueux puis prend une consistance laiteuse, visible d'ailleurs lorsque la graine est pressée à ce stade. Les panicules sont toujours vertes et dressées.

**Grain pâteux (stade 8):** La portion laiteuse du grain devient molle puis se transforme en pâte dure (deux semaines après floraison). La panicule commence à se courber et la couleur des grains évolue progressivement du vert vers la couleur caractéristique de la variété.

**Maturité (stade 9):** Le grain est mûr lorsqu'il a atteint sa taille définitive. Son poids maximal est aussi atteint, conférant à la panicule sa forme courbée. Le grain devient dur et prend la couleur définitive de la variété (jaune paille, noire, etc.). Ce stade est atteint quand 85 à 90 % des grains de la panicule sont mûrs.

### 1.2.3. Ecophysiologie du riz

La phénologie du riz dépend de la température de l'air, de la température de l'eau et de la photopériode. Des températures froides durant la phase végétative ralentissent le développement du riz et allongent ainsi le cycle. Les variétés de riz sont caractérisées par une température de base en dessous de laquelle le développement s'arrête complètement ( $T_{base}$ ), une température optimale ( $T_{opt}$ ) à laquelle la vitesse de développement est la plus élevée et au-dessus de laquelle la vitesse de développement reste relativement constante, et une « somme de jours de température » ( $T_{sum}$ ).  $T_{sum}$  est le cumul des unités thermiques nécessaires à la plante pour arriver à la floraison. La vitesse de développement ralentit, surtout pour des températures très élevées et elle diminue également lorsque les jours s'allongent (effet de la photopériode) souvent au-delà de 11 heures environ par jour.

La température de l'air a aussi un effet direct sur le cycle du riz, sur le remplissage et la maturation des grains et sur le rendement (Raboin *et al.*, 2013). En général, les températures basses autour de l'initiation paniculaire peuvent causer une stérilité des épillets. Une température minimale de l'air de 18°C peut causer un début de stérilité. La stérilité atteint 100 % si la température minimale de l'air tombe en dessous de 16°C. Un effet de stérilité peut aussi se produire pour des températures élevées à la floraison. Le pourcentage de stérilité augmente de 0 à 100 % si la température moyenne de l'air augmente de 35°C à 45°C (Wopereis *et al.*, 2008).

La sensibilité à la photopériode par contraste avec la sensibilité thermique, se manifeste après une "phase végétative de base" (BVP) de longueur non inductive, soit 10 à 85 jours (Vergara & Chang, 1985) selon les cultivars. Cette phase 'juvénile' où le riz est insensible à la photopériode, est encore appelée phase "pré-inductive" (Summerfield *et al.*, 1992). La période de sensibilité à la photopériode (PSP) se situe au moment de la différenciation de l'apex. La PSP est le stade de croissance indicatif de la sensibilité du riz à la photopériode. Elle varie de 0 à 30 jours chez les cultivars insensibles à la photopériode et plus de 31 jours chez les sensibles (Vergara & Chang, 1985). Les traitements à jours longs peuvent retarder la floraison ou l'empêcher (Vergara

& Chang, 1985). Les cultivars du riz se caractérisent par une forte variabilité pour leur sensibilité à la photopériode (Sié, 1997).

Par ailleurs, l'effet de la température sur la production de biomasse a été mis en évidence par Prasad *et al.*, (2006) qui montrent qu'une augmentation de 5°C des températures diurnes et nocturnes réduisent les rendements de l'ensemble des cultivars étudiés, composés des deux espèces *O. sativa* et *O. glaberrima*, et des écotypes *indica* et *japonica* d'origine tempérée ou tropicale.

La photosynthèse est le processus rendant autotrophes les plantes qui captent l'énergie lumineuse pour synthétiser de la matière organique à partir du CO<sub>2</sub>. C'est un processus biologique qui se déroule dans les chloroplastes. La photosynthèse est communément divisée en deux phases : la phase « claire » qui nécessite de l'énergie lumineuse et la phase « sombre » qui n'en n'utilise pas. Durant la phase claire, l'énergie lumineuse provenant du soleil est convertie en énergie chimique via une succession de réactions photochimiques. Le bilan de ces réactions photochimiques est une augmentation de la concentration en protons dans le lumen du thylakoïde qui, au travers d'une « pompe à protons », va migrer vers le stroma du chloroplaste et former de l'énergie chimique en plus du NADPH : l'ATP (Adénosine TriPhosphate). Ces deux molécules fourniront l'énergie nécessaire au bon déroulement de la phase sombre de la photosynthèse mais aussi de la photorespiration présente principalement chez les plantes en C3 telles que le riz.

La phase sombre consiste en la fixation du CO<sub>2</sub> atmosphérique et sa conversion en composé organique dans le stroma des chloroplastes. Chez les plantes en C3 comme le riz, le cycle de Calvin qui se déroule dans les cellules du mésophylle, peut résumer à lui seul cette phase. L'enzyme Rubisco (Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase) catalyse la réaction lors de laquelle une molécule de CO<sub>2</sub> et une molécule de ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) donnent deux molécules de 3-phosphoglycérate (3PGA). Il s'ensuit alors plusieurs réactions biochimiques consommatrices d'énergie chimique (ATP et NADPH) qui aboutissent (i) à la régénération du RuBP et (ii) à la formation d'hexoses (glucides de masse moléculaire élevée telles que l'amidon) qui constituent une source d'énergie pour les plantes. La finalité de la photosynthèse est la production d'hydrates de carbone qui seront stockés sous forme de biomasse répartie entre les différentes parties de la plante (Ouattara, 2018).

Du fait de son origine aquatique, le riz est une plante exigeante en eau par rapport à d'autres céréales (Courtois, 2007). En culture pluviale, les besoins hydriques du riz dépendent de la durée du cycle de la variété cultivée et du climat local qui régit l'importance de la transpiration de la plante. Ces besoins sont généralement compris entre 450 mm pour les variétés à cycle court et

650 mm pour les variétés à cycle long (Angladette, 1966). Les besoins en eau sont de 160 à 300 mm/mois pendant la période végétative et croissent avec l'âge des plants en fonction du coefficient cultural (Kc). Généralement, les besoins sont plus importants durant les phases de développement (Tallage) et à la mi-saison (Initiation paniculaire–Montaison–Epiaison–Floraison) par rapport aux phases initiales (Semis–Germination–Levée–Reprise) et d'arrière-saison (Maturation– Maturité) (Dancette, 1983). La température de cette eau ne doit pas être en deçà de 22°C, l'optimum étant de 30 à 34°C (DGEMRH, 2012).

Au plan physiologique, le riz en condition de stress hydrique met en jeu divers mécanismes d'adaptation lui permettant de réaliser malgré tout son cycle de vie. D'une manière générale, le système de riz de plateau sera celui où les conditions de déficit hydrique affecteront le plus la croissance. (Renard, 1983) .

La résistance à la sécheresse est subdivisée en deux mécanismes : l'esquive et la tolérance.

L'esquive chez le riz se manifeste par :

1) la fermeture stomatique : la régulation stomatique permet de réduire les pertes en eau (Renard, 1983). Le coefficient d'utilisation de l'eau (g d'eau utilisée/g de matière sèche formée) sera de l'ordre de 450-600 (Szarek & Ting, 1975).

2) la résistance cuticulaire : une résistance cuticulaire élevée est souvent citée comme une propriété des espèces résistantes. Martin & Juniper (1970) ont mis en relief que la transpiration cuticulaire était généralement négligeable au regard de la transpiration par voie stomatique. Yoshida et Reyes (1976) en comparant la résistance cuticulaire du sorgho, du maïs et de différents cultivars de riz, notent des valeurs pratiquement doubles et même triples pour les deux premiers par rapport au riz (116-112 s/cm contre 60-30 s/cm). La plupart des cultivars de riz de plateau montrent une résistance cuticulaire élevée, mais ce caractère est délicat à manipuler en raison des aléas des mesures (Turner, 1982).

3) L'enroulement foliaire : c'est le symptôme le plus évident du déficit hydrique. Celui-ci a pour effet de diminuer la surface foliaire et donc la transpiration. Combiné avec un rapport nombre de stomates à la face supérieure/ nombre de stomates à la face inférieure élevé, l'enroulement foliaire sera encore plus efficace dans la limitation des échanges de vapeur d'eau. O'toole, (1979); O'Toole & Cruz (1980) et Renard (1983) ont montré que chez le riz, la réduction du taux de transpiration par enroulement du limbe pouvait atteindre 50 %. L'efficacité photosynthétique s'en trouve par conséquent réduite.

4) La chute des feuilles : la sénescence et la chute foliaire sont des moyens drastiques pour limiter la transpiration en cas de sécheresse aigüe. Mais cela entraînera un retard considérable dans la croissance et le développement.

Quant au mécanisme de tolérance qui signifie « vivre avec », il met en jeu :

1) L'ajustement osmotique : chez les plantes supérieures comme le riz, le mécanisme qui est considéré comme le plus important est l'ajustement osmotique. En cas de sécheresse, la perte d'eau à partir des cellules provoque une concentration des solutés du cytoplasme et donc une élévation des potentiels osmotiques cellulaires et tissulaires qui a pour effet de maintenir la turgescence positive.

2) La tolérance à la dessiccation : correspond à une capacité de la membrane cytoplasmique de retenir les électrolytes, donc de conserver son intégrité en cas de dessiccation. Le riz est particulièrement tolérant au stade végétatif. Par contre, les stades allant de l'épiaison à la fécondation sont particulièrement sensibles. L'acquisition de cette capacité est très nettement liée à la rapidité de l'établissement de la sécheresse (Gaff, 1980).

3) Le maintien à la translocation : un des effets de la sécheresse chez les céréales est de favoriser la translocation des assimilats accumulés dans les racines, tiges et gaines vers les grains afin de pallier le déficit en eau (Passioura, 1976). Mais ce transfert ne suffit pas à compenser la perte résultant du déficit d'assimilation dû à la sécheresse. Cependant, la variabilité observée au sein de cultivars testés sous ce rapport indique que ce critère pourrait être utilisé (Reyniers *et al.*, 1982).

### **1.3. Bioagresseurs , maladies et défense de la culture du riz**

#### **1.3.1. Bioagresseurs**

Les principaux bioagresseurs du riz sont les adventices, les insectes, les nématodes, les rongeurs, les termites et les oiseaux.

##### **1.3.1.1. Adventices**

Les adventices sont des compagnes universelles de la culture du riz sous tous les tropiques. Dans de nombreuses situations, leur croissance est si prolifique, qu'à moins d'être éradiquées à temps, elles réduisent jusqu'à 100% le rendement en grains ( Rao *et al.*, 2007). Les adventices entrent en compétition avec la culture et réduisent le rendement. La gestion des adventices est par conséquent très importante. Dans les systèmes irrigués et de riz pluvial de basses-terres où le semis direct est pratiqué, les adventices deviennent un enjeu majeur, car la levée du riz et des adventices se produit au même moment et le contrôle par inondation est difficile dans le riz cultivé en semis direct.

Les adventices peuvent être contrôlées à l'aide de moyens mécaniques, chimiques et par une gestion périodique et intégrée des adventices.

### **1.3.1.2 Insectes et les nématodes**

Le riz est l'hôte de plusieurs centaines d'espèces d'insectes. Les principaux ravageurs sont les foreurs des tiges, les cicadelles, les mouches à galle (cécidomyie) et les insectes des stocks de grains. Ces insectes induisent des dégâts considérables chaque année, avec des estimations de pertes allant de 0 à 30, parfois 50% du rendement (Arraudeau, 1998).

Deux espèces parasitent les racines selon que l'on est en riziculture irriguée ou en riziculture pluviale (Reversat *et al.*, 2003). En riziculture irriguée, le genre *Hirschmaniella* Luc and Goody, un endoparasite migrateur, prédomine avec plusieurs espèces selon les pays ou les régions. En riziculture pluviale, deux espèces majeures ont été trouvées aux Philippines, en Indonésie et au Vietnam : *Meloidogyne graminicola* Golden and Bierchfield, un endoparasite sédentaire et *Pratylenchus zeae* Graham, un endoparasite migrateur. Ce sont également les espèces majeures trouvées en Inde, en Thaïlande mais pas en Afrique (Prot, 1994). D'une manière générale ces nématodes induisent des symptômes de jaunissement et des dégâts sur les parties aériennes du riz qui ne sont pas spécifiques de l'attaque des racines par les nématodes. Ces symptômes peuvent être confondus, notamment, avec ceux provoqués par une mauvaise nutrition minérale.

### **1.3.1.3. Rongeurs, termites et oiseaux**

Les mollusques, les rongeurs (*Rattus rattus argentiventer* et *R. r. mindanensis*), les termites et les oiseaux constituent des problèmes pour la riziculture.

La destruction des termitières par l'emploi d'un insecticide approprié au moment de la préparation des sols permet de lutter efficacement contre les termites.

Les oiseaux représentent une menace aux endroits où la riziculture n'est pas pratiquée sur de vastes étendues contiguës et où la composition variétale est telle que la floraison des variétés se produit à des moments différents.

Pour lutter contre les oiseaux, l'on peut synchroniser la floraison en s'accordant pour faire pousser des variétés de phénologie similaire sur de vastes étendues contiguës ; effrayer les oiseaux pour les éloigner du champ, particulièrement au stade grain laiteux et asperger la culture avec un répulsif pour oiseaux.

Les rongeurs endommagent gravement la culture de la montaison jusqu'à la maturité. La récolte à temps de la culture, l'incorporation correcte des résidus de culture et le débroussaillage des diguettes permettent de limiter ou de réduire les dégâts dus aux rongeurs.

Aussi, des barrières actives, des lanceurs de flamme, l'enfumage des terriers et des pièges empoisonnés peuvent être employés seuls ou associés pour lutter contre les rongeurs.

### **1.3.2. Maladies**

#### **1.3.2.1. Maladies fongiques et bactériennes**

La pyriculariose (*Pyricularia oryzae* Cav. *Magnaporthe oryzae*) est la principale maladie du riz. Elle touche 85 pays et peut provoquer des ravages lorsque les conditions sont favorables. La plantule, le tallage et l'initiation paniculaire sont les stades les plus sensibles aux attaques de la maladie. Des pertes dues à cette maladie allant de 1,4 jusqu'à 100% ont été enregistrées. Le champignon provoque des tâches sur les feuilles, les noeuds et sur différentes parties des panicules et des grains. Les tâches ont une forme elliptique avec des extrémités plus ou moins allongées. D'autres espèces de champignons sont susceptibles d'attaquer les plantes : échaudure foliaire, gigantisme, la galle blanche. (Sy et Séré, 1996).

Le flétrissement bactérien des feuilles causé par *Xanthomonas oryzae* p.v. *oryzae* Dye a été décrit surtout en Asie, dans le nord de l'Australie; dans plusieurs pays d'Amérique latine; à Madagascar. Cette maladie a été signalé pour la première fois en Afrique de l'Ouest, au Mali, par Buddenhagen *et al.*, (1979), ensuite au Niger et au Sénégal. Les pertes de rendement, dans les champs gravement contaminés peuvent atteindre 50%. Le flétrissement apparaît tout d'abord comme une petite tâche mouillée à la périphérie des feuilles inférieures pleinement développées. Avec l'extension des tâches, les feuilles jaunissent, sèchent et se fanent. Sur le limbe, les lésions apparaissent en général sur les bords à partir de la pointe et s'agrandissent avec un contour ondulé, puis deviennent jaunes et sèches. D'autres maladies bactériennes existent sur le riz en Afrique. En particulier la pourriture bactérienne des gaines causée par *Pseudomonas fusco vaginae* qui sévit surtout dans les régions froides et en altitude (Ou 1984).

#### **1.3.2.2. Maladies virales**

Le tungro (qui signifie croissance dégénérée) a été observé pour la première fois à l'IRRI, aux Philippines, en 1963. On l'a identifié comme un virus transmis par *Nephotettix virescens*. Sa présence a été signalée en Malaisie (Penyakit mersh ou maladie rouge), en Indonésie (mentek, midgel), en Thaïlande (feuille jaune-orange) et en Inde (avec un virus ressemblant au tungro), la transmission par *N. virescens* ayant chaque fois été confirmée. Les principaux symptômes observés sur les plants de riz atteints de tungro sont le rabougrissement et la décoloration des feuilles, dont la teinte varie entre différentes nuances de jaune et l'orange. Le principal vecteur

du virus de tungro est *N. virescens*, bien que le vecteur *N. nigropictus* ait été signalé par l'IRRI (aux Philippines) et en Thaïlande. La panachure jaune du riz est une maladie virale qui se développe surtout sous écosystème irrigué ou de bas-fond dans différents pays africains.

#### **1.4. Politique, production et distribution du riz en Côte d'Ivoire**

##### **1.4.1. Politique et institutions en matière de riziculture en Côte d'Ivoire**

La Côte d'Ivoire a mis en place la Stratégie Nationale de Développement de la filière Riz (SNDR) en 2008. En 2011, le pays a publié sa version révisée : la "SNDR 2012-2020". Celle-ci a été instaurée suite à la hausse du prix des denrées alimentaires en 2007 et en 2008 qui a suscité un sentiment d'insécurité lié à une trop forte dépendance à l'importation. Les problèmes relevés par la SNDR quant à la production du riz au niveau national sont : (i) l'accroissement de l'importation de riz, (ii) la quasi absence de subventions publiques pour les rizières pluviales, représentant 95 % de la surface consacrée à la riziculture, (iii) le fait que la production de riz des zones irriguées n'atteigne que 60 % du potentiel de production, (iv) le marketing du riz blanchi, considéré comme le moteur du développement de la filière riz, est effectué de manière informelle et non systématisée (JICA & JAICAF, 2013).

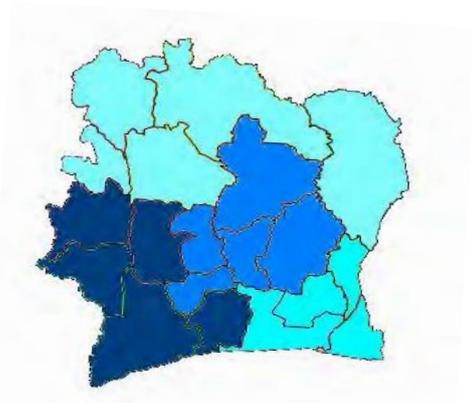
Les principaux organismes nationaux impliqués dans la promotion de la riziculture sont, outre le nouveau Ministère de la promotion de la riziculture, créé en septembre 2019, le Ministère de l'Agriculture, l'Office National du Développement de la Riziculture (ONDR) qui est devenu en 2018 l'Agence pour le Développement de la filière RIZ en Côte d'Ivoire (ADERIZ), le Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA) et l'Association Nationale des Riziculteurs de Côte d'Ivoire (ANARIZ-CI).

##### **1.4.2. Consommation, importation et production du riz en Côte d'Ivoire**

Comparée à celle de 1960, la consommation du riz en Côte d'Ivoire a été multipliée par 10 en 2011, pour atteindre 1,43 millions de tonnes. Jusqu'aux environs de 2000, l'importation et la production nationale du riz ont augmenté de concert avec la hausse de la demande. Malheureusement, les crises successives qu'a connu le pays ont eu pour conséquences une diminution de la production et une hausse des importations. En 2011, le volume total des importations représentait environ 1,215 millions de tonnes dont 88% provenaient de la Thaïlande, du Vietnam, et du Myanmar. Si la consommation de riz par individu plafonne à environ 66 kg/an, depuis qu'il a atteint cette valeur en 1980, celle-ci a été multipliée par 1,8 par rapport à 1960. Ce qui montre que le riz est un aliment important pour la Côte d'Ivoire. La tendance à l'augmentation de la consommation du riz est manifeste à l'échelle nationale

(taux de croissance annuel moyen de 4 %) et l'augmentation de la consommation excède celle de la population (2,2 %) (JICA & JAICAF, 2013).

Une vue d'ensemble de la production ivoirienne du riz montre que celle-ci se concentre essentiellement dans les régions de l'Ouest. La situation change cependant si l'attention se porte sur la riziculture inondée. La production en culture de bas-fond non irriguée est la plus élevée dans les régions du Sud-ouest, suivi de la région du Centre, où se situent les villes de Yamoussoukro et de Bouaké. Pour la riziculture inondée, la production du Centre dépasse celle du Sud-ouest. Le Centre constitue une grande zone de production et de fourniture importante de riz inondé. Concernant le riz pluvial, bien que pratiqué sur l'ensemble du territoire ivoirien, sa production, par ordre d'importance, se répartie à l'ouest, au Sud-Ouest, au Nord, au Centre et au Sud-est (Figure 3).



**Figure 3: répartition régionale de la production du riz pluvial. De très grande zone de production (couleur foncée) à très petite zone de production (couleur claire) (JICA & JAICAF, 2013).**

Ce mode de culture représente plus de 83,2 % de la surface totale cultivée. Sa productivité est cependant faible (1,1 T/ha). Les rizières irriguées ne représentent quant à elles que 3 % de la surface totale cultivée, leurs rendements sont cependant élevés (3,1 T/ha) (Tableau 1)

**Tableau 1: superficie et pourcentage pour chaque mode de production du riz**

Classification des régions	Riz irrigué		Riz de bas-fonds		Riz inondé		Riz pluvial	
	Superficie	(%)	Superficie	(%)	Superficie	(%)	Superficie	(%)
Sud-ouest	12 218	36,8	65 774	57,2	4 882	29,3	416 261	50,9
Centre	13 021	39,2	22 665	19,7	8 275	49,6	161 976	19,8
Nord	6 566	19,8	12 097	10,5	1 536	9,2	225 256	27,5
Sud-est	1 440	4,3	14 459	12,6	1 973	11,8	14 160	1,7
<b>Total</b>	<b>33 245</b>	<b>3,4</b>	<b>114 995</b>	<b>11,7</b>	<b>16 666</b>	<b>1,7</b>	<b>817 653</b>	<b>83,2</b>

Source : JICA & JAICAF ( 2013)

### **1.4.3. Itinéraire technique de la culture du riz en Côte d'Ivoire**

Le riz se cultive dans des environnements aussi variés que contrastés. Parmi les systèmes de riziculture ivoirienne, le riz pluvial est celui qui est cultivé sur l'ensemble du pays avec une dominance à l'Ouest, au Nord et au Centre-Ouest (ONDR, 2012). La culture du riz pluvial se fait principalement sur brûlis. Après une culture sur quelques années au maximum, l'on se déplace sur un autre terrain en jachère pour le mettre en culture. La culture du riz pluvial s'interprète plus comme une culture sur brûlis itinérante. La surface moyenne cultivée est de 1,2 ha pour la riziculture irriguée et de bas-fonds et de 1,6 ha pour le riz pluvial. Pour l'ensemble des exploitations, elle est de 1,45 ha (JICA & JAICAF, 2013).

Le développement d'une culture de riz et la production obtenue nécessitent la mise en œuvre de plusieurs techniques allant de la préparation du sol, à la récolte en passant par les opérations de semis et d'entretien des parcelles.

#### **1.4.3.1. Préparation du sol, semis et entretien du riz**

La préparation du sol consiste à travailler la partie supérieure de la terre de manière à favoriser la germination de la semence et le développement du plant. La principale fonction de la préparation du sol est qu'elle modifie les propriétés physiques du sol dans son profil cultural. Le résultat est que la porosité et l'aération du sol, de même que l'infiltration de l'eau, se trouvent ainsi grandement améliorées. Pour la plante, cette amélioration de la structure du sol se traduira par une bonne croissance racinaire, un développement rapide et une bonne vigueur. D'une façon générale, la préparation du sol consiste, en un labour profond de 20 à 25 cm et d'un hersage à la profondeur de 10 à 15 cm en système de culture améliorée et juste en un andainnage après défrichage et brûlage en système traditionnel. Le labour mécanisé est pratiqué à 100 % pour la riziculture irriguée, 20 % pour les bas-fonds, 71 % pour les plaines d'inondation, et pratiquement de 0 % pour la riziculture pluviale. (JICA & JAICAF, 2013).

Le riz pluvial est cultivé, pendant la saison des pluies, sur les plateaux et sur les versants, sur des sols limono-argileux (Bouet *et al.*, 2005). La date de semis est exclusivement fonction du régime pluvial de la zone de culture et de la durée du cycle de la variété concernée. La culture du riz pluvial démarre habituellement entre avril et juillet, à l'arrivée de la saison des pluies. Celles du riz irrigué et de bas-fonds peuvent être réalisées toute l'année.

En général, le semis doit avoir lieu à la première-pluie utile (20 mm) entre juin et juillet pour les variétés à cycle court (100 à 110 jours) et moyen (120 à 135 jours) en zone centre, sud-ouest et nord-ouest. Dans les zones de riziculture irriguée et de bas-fonds, la très grande majorité des

producteurs pratiquent le repiquage. Dans les plaines inondables, ils pratiquent l'ensemencement direct. En riziculture pluviale, la très grande majorité des agriculteurs pratiquent l'ensemencement en ligne qui nécessite plus d'effort que l'ensemencement direct. Il s'agit cependant d'un mode d'ensemencement adapté à la riziculture pluviale car il dispose de nombreux atouts tels que l'économie des semences, la facilité du désherbage, l'aération des plants ainsi que la prévention des pertes causées par les animaux. En riziculture pluviale stricte, le semis s'effectue directement en lignes continues ou en poquets manuellement ou mécaniquement à l'aide d'un semoir. Les espacements recommandés sont de 25 à 30 cm entre les lignes pour le semis en lignes continues et de 20 cm x 20 cm pour le semis en poquets. Le semis en lignes continues et en poquets facilite les opérations d'entretien de la culture. C'est pour cette raison qu'il est déconseillé de semer à la volée comme il se fait souvent dans le système traditionnel. L'utilisation de rayonneur facilite le respect des écartements et permet d'avoir des lignes droites. Il est conseillé d'utiliser des semences de bonne qualité, pures, saines avec un bon taux de germination (80% et plus). Une semence impure et de qualité médiocre donne de mauvais résultats, quel que soit le niveau des autres facteurs de production. En Côte d'Ivoire, la variété principalement utilisée dans la riziculture irriguée est le "WITA-9", développé par AfricaRice en 1992 et enregistré en 1998, pour lequel l'ONDR a mis en place un programme d'augmentation de la production des semences. Dans les bas-fonds, les producteurs se fournissent généralement en semences par leurs récoltes ou le commerce entre producteurs. La situation est identique pour la riziculture pluviale ou de plaine d'inondation.

Les variétés de riz disponibles pour la riziculture pluviale en Côte d'Ivoire et répertoriés dans le catalogue officiel sont au nombre de 14 dont seulement 6 sont couramment cultivés.

La riziculture pluviale souffre de plusieurs facteurs limitant, dont les adventices pouvant causer une baisse de rendement de plus de 84 % (JICA & JAICAF, 2013).

Environ 88% des producteurs ont recours à des herbicides. Quel que soit le type de culture, ces derniers sont largement utilisés. Le recours à un désherbage manuel par des ouvriers rémunérés entraînant des frais pratiquement équivalents au coût d'achat d'herbicides, il semble inévitable le recours à ces produits, sauf à disposer d'une main d'œuvre suffisante au sein de la famille. Leur utilisation suppose cependant une certaine expérience et un savoir-faire.

Le désherbage manuel est plus courant et plus efficace que le désherbage chimique dont l'indisponibilité des herbicides et leur coût le rend moins couramment utilisé (Akintayo *et al.*, 2008). Un premier passage est effectué 15 jours après la levée soit 20 à 25 jours après le semis et un deuxième voir un troisième selon les espèces de mauvaises herbes 30 à 45 jours plus tard.

Quant aux insecticides, ceux-ci sont utilisés par environ 50% des producteurs dans les zones de riziculture irriguée, et par 70 % des producteurs des bas-fonds. Ils demeurent quasiment inutilisés dans les autres modes de production (JICA & JAICAF, 2013).

L'attaque du riz par les oiseaux est un phénomène courant sur l'ensemble du continent africain. Les surveillants sont nécessaires durant le mois précédant les récoltes. Ceux-ci sont généralement des enfants, postés dans les parcelles, qui chassent les oiseaux. Les dépenses en personnel sont faibles. Cependant la période à couvrir est longue, ce qui engendre malgré tout une dépense non négligeable.

#### **1.4.3.2. Récolte du riz et opérations post-récolte**

La récolte est le processus qui consiste à enlever le riz du champ de culture une fois arrivé à maturité. Le riz se récolte lorsqu'il est à 80 % de couleur jaune pour les variétés à glumelles paille ou lorsque les 2/3 de la panicule sont jaune paille ou encore lorsque les grains de la partie supérieure de la panicule sont translucides et durs. Physiologiquement, le riz peut être récolté 25 à 35 jours après 50 % de floraison. Les récoltes se font toutes manuellement à la faucille. Les moissonneuses ne sont pas répandues. L'usage de la faucille s'avère plus efficace et plus rentable, comparativement aux doigts de la main, au bambou aiguisé ou au petit couteau traditionnellement utilisé. La récolte doit être séchée pendant 2-3 jours sous forme de gerbes ou bottes avant la mise en meules dans un endroit sec et aéré au cas où le battage ne suit pas immédiatement (Akintayo *et al.*, 2008).

Quant au décortilage, plus de la moitié des riziculteurs des bas-fonds font appel à des batteuses, mais dans la plupart des autres cas, il se fait manuellement. Il est préférable de battre le riz immédiatement après la récolte. Le battage précoce a comme avantages la réduction des pertes de grains et de la casse des panicules. Il préserve la récolte de la pourriture à la suite d'un long entreposage en meules, évite toute germination des grains sur panicules, réduit les dégâts de rats, oiseaux, termites et animaux domestiques.

Pour les formes de vente, l'ensemble des agriculteurs des zones de riziculture irriguée vendent leur riz sous forme de paddy, alors que plus de la moitié de la production des autres régions est commercialisée sous forme de riz blanc. Il est difficile, non seulement pour les riziculteurs individuels, mais également pour les organisations agricoles, de disposer de machines à traiter le riz. La vente se fait donc généralement sous forme non décortiquée. Cependant, si la parcelle se trouve à proximité d'une ville disposant d'une telle machine, il devient possible de vendre la production sur les marchés de celle-ci après polissage (JICA & JAICAF, 2013).

En outre, les travaux tels que la collecte, le transport, le séchage au soleil, le tri (par le vent), ainsi que l'emballage du paddy doivent également être réalisés. Ceux-ci sont en général effectués par les femmes, dans le cadre familial. Pour le transport, on estime son coût moyen à environ 20 000 FCFA/ha (JICA & JAICAF, 2013).

Le coût de revient à l'hectare s'établit à 473 000 FCFA, pour un coût en intrants (semences et engrais) de 147 000 FCFA et une rémunération du travail de 326 000 FCFA, représentant respectivement 31 et 69 % du total. Le poste le plus important était celui de l'engrais, représentant 21 % du total. En ce qui concerne la rémunération des divers travaux nécessaires tout au long de la période de culture, les frais des labours mécanisés sont les plus importants, et représentent 16 % de l'ensemble des coûts de production (JICA & JAICAF, 2013).

Il y a peu de postes, dans les coûts de production, où il peut être considéré qu'il y a un investissement excessif ou inapproprié. Le problème étant la flambée des prix des engrais et de la main d'œuvre, même en regard de ceux des pays environnants, la clé pour l'accroissement de la rentabilité est leur diminution.

Quel que soit le mode de culture ou la région de production, le riz est vendu pour une large part. Même dans le cas du riz pluvial, dont la production est la moins importante, celle-ci dépasse 50 %. Nous pouvons donc penser que cette céréale est considérée comme une culture de rente, vendue après avoir prélevé le volume autoconsommé. Ce volume autoconsommé ne dépend pas seulement de la taille de la famille, mais est plus particulièrement influencé par les habitudes alimentaires des régions ou groupes ethniques. Les consommations annuelles pour une personne de chaque région, calculées à partir du volume autoconsommé et le nombre de personnes composant les familles des agriculteurs, étaient les suivantes : (i) riziculture irriguée : 50 kg, (ii) bas-fonds : 87 kg, (iii) plaines d'inondation : 108 kg, (iv) Riz pluvial : 83 kg. Nous pouvons voir qu'à l'exception de la riziculture irriguée, ces chiffres dépassent de loin le volume moyen disponible par habitant: 66 kg (JICA & JAICAF, 2013).

#### **1.4.4. Circuits de distribution du riz en Côte d'Ivoire**

Le volume total de riz importé en 2011 était de 1,215 millions de tonnes. Les parts de marché des importateurs étaient de 60 à 70 % pour la SDTM, et de 10 à 20 % pour OLAM. Le reste étant détenu par les autres importateurs notamment NOVEL, CIC, ou CDCI. Les importateurs revendent leur riz aux grossistes à Abidjan. Le riz importé est d'abord débarqué à Abidjan, puis distribué dans les villes et villages régionaux via leurs métropoles. Du fait de la grande taille des entreprises et des grossistes concernés, le réseau de distribution du riz importé est beaucoup plus

simple et efficace que celui du riz local. A Abidjan, les principaux revendeurs de riz sont les grossistes de tailles grandes à moyennes, tandis que dans les métropoles régionales, le riz est en majorité traité par de petits courtiers.

Pour le riz local, dans le Centre de la Côte d'Ivoire, la part de l'autoconsommation est faible, contrairement à celle destinée à la vente. Le riz y est surtout cultivé en tant que culture génératrice de revenu. La quantité vendue à l'extérieur de la zone de production est plus élevée que les autres. Dans le Sud-ouest, le total de l'autoconsommation et de la vente à l'intérieur de la région de production est élevé, pour une valeur de 80 à 90 %, à l'exception de San Pedro, la métropole côtière, où l'autoconsommation est faible. Cette dernière présente donc les mêmes caractéristiques que les régions centrales. Par ailleurs, à Korhogo, Dans le Nord, l'autoconsommation est très élevée et atteint 75 %. On y cultive donc surtout le riz en tant que culture vivrière. Adzopé, dans le Sud-est, dispose du meilleur accès à Abidjan. L'autoconsommation et la vente inter-régionale y représentant néanmoins 99 % des ventes. Tout le riz est quasiment consommé dans la région de production. En moyenne, la production totale se décompose comme suit : autoconsommation : 40 %, vente intra-régionale : 40 %, vente interrégionale : 20 %. Ce qui montre que 80 % de celle-ci est consommée sur place. San Pedro, dans le Sud-ouest ainsi qu'Adzopé, au Sud-est, disposant d'un bon accès à Abidjan, y vendent l'essentiel de leur production (de 60 à plus de 90 %). Pour l'ensemble des régions, les ventes se font au sein de la même zone, entre localités relativement proches, à l'exception des échanges avec Abidjan (JICA & JAICAF, 2013). Cependant, Bouaké, dans le Centre, ainsi que Korhogo, dans le Nord, exportent vers le Burkina, le Mali, ou la Guinée.

En ce qui concerne le riz local, 12,3 % de la production totale sont fournis à Abidjan. Le plus grand fournisseur de l'agglomération est la région centrale. Les parts de fourniture en riz de cette ville sont de 56,9 % pour la région Centre, et de 42,0 % pour le Sud-ouest. Si la production de cette dernière est 2,3 fois supérieure à celle de la première, la quantité de riz qu'elle fournit à l'agglomération n'atteint cependant que 70 % de celle des régions du centre.

Le réseau de distribution du riz local est plus complexe que celui du riz d'importation du fait de l'existence de coopératives, d'usines de traitement de riz, de grossistes, d'étuveurs, et de vente directe aux consommateurs. La prise en charge du traitement ou des frais de transport diffèrent également selon les voies de distribution (JICA & JAICAF, 2013).

L'existence de nombreux réseaux de distribution entraîne naturellement la baisse des quantités échangées. Il n'y a pas de stockage de riz, ce qui augmente les coûts de distribution. L'immaturité des voies de distribution a pour conséquence une livraison insuffisante de riz à Abidjan. Le fait que le riz local n'y passe pas par les marchés de détail est le meilleur indice de

l'immaturation du marché. Des différences régionales ont également été constatées dans les procédés d'échanges et les fonctions des voies de distribution du riz. Les principales différences des formes d'échanges à Yamoussoukro, Sakassou et M'batto sont les suivantes : (i) la collecte auprès des producteurs se fait par les coopératives de producteurs à Yamoussoukro et Sakassou, tandis que celle-ci se fait conjointement par les agriculteurs et les coopératives à M'batto. (ii) la vente en consignation est pratiquée à Yamoussoukro et M'batto, tandis qu'à Sakassou, le paddy est acheté aux riziculteurs. (iii) Le riz est traité par les coopératives agricoles à Yamoussoukro et M'batto; à Sakassou, celui-ci est directement vendu sous forme de paddy, car il n'y a pas d'équipements de traitement. (iv) Le transport vers les lieux de consommation se fait par la coopérative à Yamoussoukro, tandis que des grossistes viennent acheter le riz à M'batto (JICA & JAICAF, 2013).

La composition moyenne des coûts et des revenus se répartissent de façon homogène, 1/3 pour les coûts de production, le revenu des producteurs, ainsi que les autres coûts et revenus. Parmi les frais de production, la part la plus importante est dévolue à la main d'œuvre et aux machines, suivi des intrants (JICA & JAICAF, 2013).

Le riz local est préféré à celui d'importation dans toutes les régions. Cependant, la consommation de riz importé est largement supérieure dans les zones urbaines. Les normes qualitatives du riz pour les consommateurs sont : (i) le goût, ainsi que la faiblesse de la contamination qui sont des facteurs importants dans toutes les régions. (ii) l'odeur n'est pas un facteur très important à Abidjan ou à Gagnoa, mais il l'est à Yamoussoukro. (iii) le taux de brisure n'est pas important pour l'ensemble des régions. (iv) le fait que le riz soit local est un facteur important à Yamoussoukro et Gagnoa. (v) lors de l'achat de riz local, on porte une attention particulière à son prix, son odeur ou sa provenance. (JICA & JAICAF, 2013).

La politique mise en œuvre dans la filière rizicole, les institutions qui y travaillent, les efforts pour accroître la production locale traduisent l'importance du riz et plus particulièrement du riz pluvial en Côte d'Ivoire. Pour accroître la production locale et couvrir la demande intérieure, de nombreux obstacles devront être levés. Parmi ceux-ci, la lutte efficace contre les adventices qui sont considérées comme la contrainte biologique la plus importante (Johnson, 1997) et comme le second plus grand obstacle de production après le stress hydrique (Akintayo *et al.*, 2008).

La population d'adventices en riziculture pluviale ivoirienne, les méthodes conventionnelles de lutte contre leurs nuisances ainsi que les fondements de la lutte intégrée sont étudiés au chapitre 2.

## CHAPITRE 2 : POPULATION D'ADVENTICES EN RIZICULTURE PLUVIALE IVOIRIENNE, LUTTE CONVENTIONNELLE ET FONDEMENTS DE LA LUTTE INTEGRÉE

### 2.1. Population d'adventices en riziculture pluviale ivoirienne

En riziculture pluviale ivoirienne, les travaux antérieurs ont permis de répertorier plus de 100 espèces d'adventices (Merlier, 1974). Ce sont presque toutes des espèces largement répandues dans toutes les zones tropicales du monde. Elles se trouvent partout où la chaleur et l'humidité sont suffisantes. La notion de zone écologique revêt donc une importance bien moindre en zone tropicale en général et en Côte d'Ivoire en particulier. Cela justifie la standardisation des méthodes de lutte contre les adventices.

Toutes ces adventices sont des espèces annuelles ou du moins se comportent comme telles en milieu cultural. Il n'y a pas de véritables espèces vivaces, soit parce qu'elles sont absentes (par ex. *Cyperus rotundus*) soit parce qu'elles ont été éliminées par les pratiques culturales. Ainsi, *Imperata cylindrica* ne peut survivre en terrain profondément labouré et disparaît automatiquement en deux ou trois ans. Ce n'est une espèce dangereuse qu'en conditions de culture manuelle. *Rottboellia exaltata*, souvent cité comme une espèce très dangereuse, n'est pas un problème sérieux en Côte d'Ivoire (Merlier, 1982). Elle peut infester les champs durant les premières années qui suivent le défrichement, mais les graines perdent très vite leur faculté germinative en trois ans et de bonnes techniques culturales suffisent pour éliminer cette espèce. Seules quelques espèces sont vraiment importantes et peuvent former plus de 75 % de la production végétative des adventices. Ce sont : *Digitaria horizontalis*, *Brachiaria lata*, *Eleusine indica*, *Acanthospermum hispidum*, *Commelina benghalensis*, *Trianthema portulacastrum* (Merlier, 1982).

Les adventices sont particulièrement néfastes pendant le second mois du cycle cultural. Si elles ne sont pas supprimées pendant cette période, la perte de rendement peut dépasser 70 % du rendement potentiel de l'année. Si l'enherbement se reforme après cette période, la baisse de rendement n'est plus que de 20 % (Merlier, 1982).

L'enherbement pendant le premier mois de la culture n'affecte pas le rendement : le tallage productif est certes réduit, mais il est exactement compensé par des épis plus fournis et des grains plus gros.

La végétation adventice tropicale se caractérise par de très fortes levées et par une extrême rapidité de développement. Mais, par rapport à l'impact sur le rendement, la nuisance de cette végétation n'est pas toujours flagrante (Merlier, 1982).

La nuisance des adventices est fonction, dans certains cas, de la pluviosité et de la densité de semis du riz. Des travaux sur la résistance à la sécheresse du riz (Forestier, 1979) ont montré que la période de plus grande sensibilité à la sécheresse du riz est celle qui suit l'initiation paniculaire et qu'il existe une corrélation positive entre le rendement du riz et la pluviosité de cette période critique dans les traitements non enherbés et enherbés.

## **2.2. Méthodes de lutte conventionnelle contre les adventices**

La lutte contre les adventices a été toujours une préoccupation depuis les premiers peuples agricoles. Des extraits de plantes étaient utilisés avant notre ère pour protéger les stocks de grains et des procédés de lutte biologique étaient déjà utilisés dans les vergers chinois au huitième siècle. Les stratégies de protection étaient essentiellement basées sur la lutte mécanique et biologique (Robin, 2013). Au sortir de la seconde guerre mondiale, la mise sur le marché des substances de synthèse a permis une meilleure lutte qui s'est traduite par l'accroissement des rendements donnant ainsi une primauté de plus en plus croissante à la lutte chimique (Tilman *et al.*, 2002).

En riziculture pluviale, les principales méthodes de lutte contre les adventices sont : la préparation du sol, la technique du sol rappuyé, le désherbage manuel, la culture concurrentielle, la lutte chimique, le désherbage mécanique et la lutte intégrée.

### **2.2.1. Préparation du sol et technique du sol rappuyé**

Une bonne préparation du sol est un moyen de lutte contre les mauvaises herbes (Buhler & Gunsolus, 1996). Un labour profond qui retourne la terre assure une meilleure préparation du sol parce que les graines et les débris d'adventices sont enterrés. Les parcelles de riz pluvial doivent être labourées dans le mois sec qui suit la récolte du riz.

La technique du sol rappuyé consiste à labourer le sol deux semaines avant le semis puis à laisser le champ au repos pour permettre aux graines d'adventices de germer et enfin, à détruire les graines d'adventices germées avant de semer le riz.

### **2.2.2. Désherbage manuel**

Le désherbage manuel est la méthode la plus courante et la plus efficace de lutte contre les adventices en riziculture pluviale. Cependant cette méthode est difficile, pénible et long avec des coûts de main-d'œuvre élevés. De plus, cette main-d'œuvre n'est toujours pas disponible en temps voulu. Aussi, le désherbage manuel peut être retardé par un mauvais temps. Cette méthode ne supprime généralement pas complètement toutes les adventices. En Côte d'Ivoire, en

riziculture pluviale, le désherbage manuel est le plus utilisé. Cependant, ce dernier est de moins en moins fréquent avec le problème croissant de la pénurie de main d'œuvre. En effet, les besoins sont estimés à 50 personnes-jour ha<sup>-1</sup> (Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), 1998). Le désherbage manuel est difficile à réaliser à cause de la durée relativement élevée du temps de travail (250 à 700 h j ha<sup>-1</sup>) qu'il requiert (Aubry & Dounias-Michel, 2006). Il est effectué généralement en retard car la main-d'œuvre pour le faire se fait de plus en plus rare. Le sarclage doit être aussi précoce que possible. Cependant, Merlier (1974) a montré qu'un sarclage réalisé avec quinze jours de retard a donné le meilleur résultat, alors que le riz était en ce moment totalement recouverte par une épaisse végétation adventice (Merlier, 1974, 1982). Un désherbage à 30 jours après le semis ne peut être effectué que manuellement et requiert un travail énorme (Merlier, 1974, 1982).

### **2.2.3. Culture concurrentielle et paillage**

L'usage d'une culture concurrentielle contre les adventices est une méthode qui consiste à sélectionner un cultivar qui présente des aptitudes pour concurrencer les adventices : une vigueur végétative précoce, une grande surface foliaire, une couverture végétale rapide, une grande taille et une absorption élevée d'azote dans les premiers stades de croissance (Zhao *et al.*, 2006). En Inde, certaines variétés comme Halubbalu Bhallu et Wanar-1 ont une forte vigueur initiale et sont capables d'éliminer les adventices. En Côte d'Ivoire, le Nerica 1, variété à cycle court, compétitive vis-à-vis des adventices et résistante aux stress hydriques est utilisé comme culture concurrentielle des adventices.

Beaucoup moins utilisé en riziculture pluvial, le paillage est une opération qui consiste à mettre en place le paillis qui est une couche de matériau protecteur posée sur le sol (Singh *et al.*, 2007). Plusieurs objectifs sont poursuivis dont celui de modifier les effets du climat local et de maîtriser le développement des adventices en interceptant le rayonnement solaire nécessaire à leur germination.

### **2.2.4. Lutte chimique**

L'emploi d'herbicides pour lutter contre les adventices a débuté depuis la sortie de la seconde guerre mondiale. Mais, au cours des années 1950 et 1960, en dépit du succès de la lutte chimique, l'usage des herbicides a été remis en cause du fait des risques sur la santé et sur l'environnement (Bell *et al.*, 2006). De plus, l'usage accru des produits chimiques a induit l'apparition de résistances qui obligent les producteurs à une course en avant dans l'utilisation des produits chimiques aboutissant à une impasse technique (Robin, 2013). Aussi, l'efficacité de la lutte

chimique dépend de la fiabilité, de la toxicité, de la disponibilité et du coût des herbicides utilisés (Marnotte, 1995). Ces derniers sont un frein à l'utilisation courante des produits chimiques contre les adventices dans la riziculture pluviale en général. En Côte d'Ivoire, l'usage des herbicides est devenu une alternative à la raréfaction de la main d'œuvre agricole. L'utilisation des herbicides a connu un essor à partir de l'année 2010. Cependant, la lutte chimique présente des limites à cause des phénomènes de résistances observés (Boraud *et al.*, 2010; Lopes Ovejero *et al.*, 2013). Aussi, le coût des herbicides limite le recours à la lutte chimique par les petits producteurs. Enfin, l'usage des herbicides a des conséquences sur la santé humaine et sur l'environnement (Konan *et al.*, 2014).

### **2.2.5. Désherbage mécanique**

Utilisé bien avant l'arrivée du désherbage chimique, le désherbage mécanique consiste à éliminer les adventices à l'aide d'outils mécaniques (charrue, herse étrille, bineuse, etc.). Le désherbage mécanique n'est pas seulement utile pour lutter contre les adventices, il présente aussi des avantages agronomiques. Le passage d'un outil permet, en fonction du matériel et des conditions au moment de l'intervention, de limiter le ruissellement par la destruction de la croûte de battance, d'aérer et de niveler le sol, de réduire l'évaporation de l'eau, de positionner les fertilisants ou encore de favoriser la minéralisation de la matière organique. Cependant, les techniques de désherbage mécanique sont exigeantes dans leur mise en œuvre et nécessitent une meilleure maîtrise de différents paramètres (type de sol, stade de la culture et des adventices etc.). Les cultures que l'on peut sarcler comme le maïs ou le riz peuvent généralement être désherbés mécaniquement. En riziculture pluviale en Côte d'Ivoire, le désherbage mécanique est quasi inexistant.

## **2.3. Recherches scientifiques et fondements de la lutte intégrée**

### **2.3.1. Recherches scientifiques et perspectives d'amélioration de la production**

Pour les années à venir, la riziculture doit relever de nombreux défis. Pour maintenir le prix du riz à un niveau abordable pour les consommateurs, il faudra produire 100 millions de tonnes supplémentaires de paddy pour chaque nouveau milliard d'êtres humains. Cela, avec moins de terre, moins d'eau et moins de main-d'œuvre, du fait de la compétition croissante entre les usages agricoles, urbains et industriels de ces ressources. Les systèmes rizicoles devront également être plus économes en intrants et plus résilients dans un contexte de changement climatique et plus respectueux de l'environnement. Mais la croissance économique et les transformations

structurelles associées ouvrent aussi de nouvelles perspectives à la riziculture. En Asie, ces transformations conduisent à une intégration croissante des économies rurales et urbaines. En Afrique, on assiste à un foisonnement d'initiatives du secteur privé, avec des engagements nationaux et régionaux clairs pour développer la filière riz. Partout, la réduction de la disponibilité en main-d'œuvre conduit à la mécanisation, à de nouvelles pratiques culturales et à l'apparition de fournisseurs de services dans des secteurs aussi variés que le planage des rizières, la préparation du sol, le semis, le repiquage et la récolte, ainsi que le décorticage du paddy. Le rôle du secteur privé augmente aussi en matière de conseil technique. Avec le développement de la filière du riz, les riziculteurs se tournent de plus en plus vers le secteur privé (distributeurs d'engrais, pesticides et semences) comme source d'information ; ce dynamisme est cependant aussi porteur de risques pour l'environnement et pour la santé des riziculteurs. Enfin, des transformations rapides sont en cours dans le secteur de la distribution des produits alimentaires, avec le passage de filières géographiquement courtes avec beaucoup d'intermédiaires vers des filières géographiquement longues mais avec peu d'intermédiaires ; une importance grandissante est accordée aux marques, à l'origine des produits, voire à leurs conditions de production (filiale biologique, commerce équitable) et au conditionnement. Un autre élément nouveau dans le paysage rizicole est la montée en flèche des investissements privés dans la production alimentaire. Principalement fondés sur des investissements étrangers dans des pays en développement du Sud, ils provoquent souvent des débats sur les « nouvelles voies de développement agricole », les « accaparements fonciers », ou les « menaces pour les communautés locales ». Face à ces enjeux, les acteurs internationaux de la recherche pour le développement de la riziculture ont mis à profit le récent processus de réforme du fonctionnement des Centres internationaux de recherche agricole, pour mettre en place un partenariat global de recherche scientifique sur le riz et la riziculture (« Global Rice Science Partnership » ou GRiSP).

Les membres du GRiSP considèrent qu'un premier train de gains de productivité pourrait venir de la réduction de l'écart entre rendement potentiel et rendement en champ paysan, avec en particulier une utilisation plus efficace de l'eau, de l'azote et des pesticides, et de la réduction des pertes post récolte. Ces gains nécessitent essentiellement une recherche appliquée, basée sur un partenariat solide avec les acteurs locaux pour adapter les technologies nouvelles aux caractéristiques locales et en faire des innovations appropriables par les acteurs. Les échanges de savoirs Sud-Sud entre les trois continents, Asie-Afrique-Amérique latine, pourraient jouer un rôle important dans ce processus. Au-delà de ces « gains rapides », il est attendu que les progrès de la génétique, qui a tant contribué à la première Révolution verte, contribuent aussi fortement

à la nouvelle révolution de l'intensification écologique de la production rizicole, c'est-à-dire à une augmentation des rendements/ hectare qui valorise aussi mieux les autres ressources, minimise le recours aux intrants chimiques et réduit les externalités négatives de la riziculture. A court terme, la création-diffusion de variétés à plus haut potentiel de production, plus efficaces dans l'utilisation des ressources, plus résistantes aux maladies et insectes, ou encore mieux adaptées aux milieux contraints devrait s'accélérer. A moyen terme, la technologie de la transgénèse pourrait permettre de modifier le régime photosynthétique du riz (C3/C4) ou de lui conférer l'aptitude à fixer l'azote atmosphérique. Cela est porteur de débats techniques, mais aussi politiques et sociétaux, qui ont été illustres par les controverses sur le riz doré (Golden Rice). Il est aussi attendu que les recherches de base sur la conception de nouveaux systèmes de production, associées aux recherches adaptatives conduites de manière participative, aboutissent au développement d'outils d'aide à la décision pour une gestion plus durable, plus profitable et plus résiliente des systèmes rizicoles. Les recherches en amélioration génétique et en agronomie seront accompagnées de recherches visant à augmenter la valeur du riz produit. Celle-ci passe par l'amélioration de la qualité et des processus de transformation et de commercialisation ainsi que par le développement de nouveaux produits à partir du riz et de ses coproduits. Au-delà de ces thèmes, la stratégie de recherche-développement du GRiSP repose sur une compréhension fine des spécificités des environnements cibles en termes de facteurs socioéconomiques et biophysiques qui déterminent les décisions des agriculteurs, des petits entrepreneurs, de l'agrobusiness, des consommateurs et de tous les autres acteurs de la filière du riz. Ce sont donc les recherches socioéconomiques, la mise en place de systèmes d'information et la démarche d'évaluation ex-ante qui sont appelées à guider les activités de recherche développement du GRiSP.

La communauté française de recherche sur le riz et la riziculture, aujourd'hui forte de près de 80 scientifiques, est reconnue pour son engagement aux côtés de partenaires du Sud, en particulier en Afrique et à Madagascar, et pour ses contributions plus génériques. La vision d'un des partenaires majeurs de cette communauté, AfricaRice, sur les voies et moyens pour optimiser les performances de la riziculture en Afrique de l'Ouest, montre que la recherche rizicole embrasse aujourd'hui un large champ, de la génétique à l'agronomie, ou de la biologie aux politiques agricoles. (Ahmadi *et al.*, 2013).

### **2.3.2. Fondements de la lutte intégrée contre les adventices en riziculture pluviale**

La lutte intégrée contre les mauvaises herbes, encore appelée gestion intégrée des mauvaises herbes (*Integrated Weed Management* : IWM), se définit comme une combinaison de méthodes culturales, mécaniques, biologiques, génétiques et chimiques visant à obtenir un contrôle efficace et économique des mauvaises herbes (Swanton & Weise, 1991). Elle résulte des leçons tirés des échecs passés de la protection des cultures qui ont donné naissance à la notion d'intégration dans la protection des cultures (Stern *et al.*, 2006) . Particulièrement en culture pluvial, l'emploi d'un seul procédé, comme le labour, le désherbage manuel, le désherbage mécanique, l'application d'herbicides, n'a pas donné de résultats satisfaisants tandis que l'association de plusieurs méthodes a donné de bons résultats (Anwar *et al.*, 2013; Hari & Pande, 1997). Il s'agit donc d'intégrer ou de combiner des instruments de gestion divers dans un même itinéraire de culture. En d'autres termes, cela consiste à cumuler, dans un même itinéraire technique, un ensemble divers de freins à la multiplication des adventices, ou de facteurs qui minimise la vulnérabilité des performances du peuplement végétal (rendement et qualité, notamment). Il s'agit d'opposer aux adventices, non pas forcément des blocages, mais des freins à leur multiplication. Il s'agit également de diversifier la nature des freins exercés. Le résultat espéré est d'obtenir une protection à la fois efficace et durable de la culture. Les principes de la lutte intégrée devraient fournir les fondements pour le développement de systèmes optimums et efficaces de contrôle des adventices et d'une utilisation efficiente des herbicides.

La lutte intégrée contre les adventices est donc un système de gestion qui utilise toutes les techniques appropriées, de manière compatible, pour réduire les populations d'adventices et les maintenir à des niveaux inférieurs à ceux qui provoquent des pertes économiques. Elle rassemble une grande quantité de pratiques agronomiques alternatives dont certaines sont déjà utilisées par les agriculteurs (Bailey *et al.*, 2009).

La lutte intégrée utilise aussi bien des méthodes préventives que curatives en prenant en compte les espèces de mauvaises herbes présentes, les conditions socio-économiques et la technicité du paysan.

La lutte intégrée nécessite le développement et l'évaluation de nouveaux systèmes de culture (Debaeke *et al.*, 2008). Il a été montré qu'il était possible de contrôler efficacement les adventices dans un système tout en réduisant les recours aux herbicides (Chikowo *et al.*, 2009), d'autant plus si l'emploi du désherbage mécanique est possible (Buhler *et al.*, 1992). Ceci permet par ailleurs de limiter l'apparition d'individus résistants et d'augmenter la diversité des adventices (Harker & O'Donovan, 2013). La lutte intégrée contre les mauvaises herbes fait

partie du concept plus large de gestion intégrée des ennemis des cultures (Integrated Pest Management-IPM). La lutte intégrée n'est pas synonyme de protection des cultures sans utilisation d'herbicides. Les principes de la lutte intégrée doivent être appliqués en accordant la priorité, autant que possible, aux méthodes non chimiques de protection des plantes, de lutte contre les ennemis des cultures et de gestion des cultures. Il est donc pertinent d'étudier ces méthodes, leur impact sur les cultures et les populations d'adventices et de pouvoir mettre en évidence leurs avantages et leurs limites. L'objectif final est d'obtenir des productions et des profits optimaux, en utilisant une combinaison idéale de méthodes reposant aussi bien sur des actions préventives, des connaissances scientifiques, des pratiques culturales ou des applications chimiques. Le contrôle des adventices ne passe pas uniquement par l'élimination des plantes non désirables mais également par la prévention de leur apparition, le contrôle de leur reproduction et de la dissémination des graines. Des mesures de contrôle indirect peuvent être prises. Il s'agit de pratiques agronomiques augmentant la compétitivité de la culture par rapport aux adventices et/ou modifiant le développement de ces dernières. Parmi celles-ci, nous pouvons citer celles liées à la conduite culturale et à l'implantation des cultures telles que le choix de la rotation, le choix de cultivars plus compétitifs ou tolérants, l'utilisation de semences de qualité, la modification de la date et de la densité de semis ainsi que l'espacement des lignes, ou encore la gestion des apports nutritifs. Des méthodes telles que la couverture du sol à l'interculture ou les associations culturales peuvent également limiter le développement des plantes indésirables. Un ensemble de mesures plus directes peut être combiné à celles citées ci-dessus. Il s'agit d'actions suppressives des adventices ou de leurs graines. Différents travaux du sol tels que le labour ou le déchaumage permettent l'élimination et l'enfouissement des graines de certaines populations d'adventices. D'autres pratiques, comme le faux-semis, favorisent la germination des mauvaises herbes pour une destruction ultérieure de celle-ci. Des pratiques de désherbage dites physiques peuvent également être mises en œuvre. Il s'agit de désherbage à l'aide d'outils mécaniques tels que la herse étrille, la houe rotative ou la bineuse ou encore le désherbage manuel. Des méthodes de bio contrôle peuvent aussi être développées en utilisant les ennemis naturels des adventices et des graines produites par celles-ci. Enfin, une application ciblée de produits phytosanitaires peut être réalisée en identifiant précisément les adventices présentes et les produits indiqués pour les éliminer. Cette application peut même être localisée et ponctuelle. En Côte d'Ivoire, des initiatives de recherche qui vont dans le sens de la lutte intégrée ont été menés. Kouamé (2014) a étudié l'effet de trois herbicides de post-levée sur l'enherbement du riz dans la région du Belier. Baraud *et al.*, (2015) ont évalué l'impact des pratiques paysannes de gestion de l'enherbement sur la production rizicole dans le Département de Didiévi et Sylla *et*

*al.*, (2017) ont évalué différentes techniques de gestion des adventices en riziculture irriguée dans le centre-ouest.

Les méthodes de lutte déployées pour lutter contre les adventices interagissent avec le climat de la zone dans laquelle elles sont mises en œuvre. De ce fait, les changements climatiques et les risques climatiques qui surviennent dans cette zone peuvent impacter leur efficacité.

## **CHAPITRE 3 : CHANGEMENT CLIMATIQUE, RISQUES CLIMATIQUES ET EVALUATION DES SYSTEMES DE CULTURES**

### **3.1. Généralités sur le changement climatique et les risques climatiques**

La Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique définit le changement climatique comme tous changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (Nations Unies, 1992). Pour le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2007), le changement climatique désigne toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Selon Cambrézy et Janin (2003), le risque est l'ensemble des contraintes immédiates et des aléas visibles, édictés par la nature et ses écarts saisonniers (eau, sol, température) avec lesquelles les communautés doivent composer faute de pouvoir s'y soustraire. Partant de là, les risques climatiques naissent des interactions entre le climat et la société et désignent tout événement non désiré provenant de l'évolution ou du dynamisme des paramètres climatiques et susceptibles de causer des dommages au système de production et d'entraîner la dégradation du bien-être social. Sur tous les continents, les systèmes naturels sont affectés par le changement climatique et les risques climatiques. A l'échelle du globe, une hausse des températures moyennes de l'atmosphère de + 0.74°C a été observée (GIEC, 2007). Ce réchauffement serait plus important ces cinquante dernières années, la hausse ayant atteint 0,13°C par décennie (Al Hamndou & Requier-Desjardins, 2008; CEDEAO-CSAO/OCDE, 2008). A l'échelle continentale, l'Afrique a subi une hausse des températures de l'ordre de 0,6 à 0,7 °C tandis que les précipitations ont en moyenne baissé de 15 à 30% au Sahel et 15% dans les régions des forêts tropicales humides. Au niveau régional, l'Afrique de l'Ouest a connu une hausse des températures allant de 0,2 °C à 0,8 °C (Centre Régional AGRHYMET, 2011). Les pays d'Afrique de l'Ouest subissent, après les sécheresses des années 70 et 80, les effets de fortes pluies et des inondations dévastatrices. Le changement climatique pourrait affecter l'agriculture dans certaines régions compte tenu de sa dépendance du climat et des conditions naturelles. C'est ainsi que l'accélération des changements climatiques, qui pourrait se traduire en un nombre croissant d'inondations, de sécheresses ou d'ouragans, conduirait à d'énormes pertes de terres cultivables (Oxfam International, 2009; Singh & Cohen, 2014). De nombreuses enquêtes de terrain réalisées ces dix dernières années prouvent que le développement de maladies et de parasites qui affectent la production du riz et le changement climatique sont étroitement liés (Salack, 2006). Les effets des changements climatiques peuvent également être ressentis sur le calendrier des précipitations qui pourraient ne plus servir de repères saisonniers pour les semis et les récoltes (PNUD, 2010). En Afrique, l'agriculture sera affectée par des changements de température et l'augmentation de CO<sub>2</sub> ainsi

que par la grande variabilité intra-annuelle de la répartition des pluies (Janin, 2010). Par ailleurs, selon certaines prévisions, d'ici à 2020, les récoltes issues de cultures pluviales pourraient diminuer de 50 % dans certains pays (Riedacker & Adjahossou, 2009). D'autres prévoient pour la deuxième moitié du 21<sup>ème</sup> siècle, des rendements en déclin à cause de températures trop élevées. Cela causerait dans le même temps une baisse de la production mondiale de céréales de 1 à 7 % d'ici 2060 (CARE, 2011). Cette baisse sera encore plus sévère si le réchauffement de la planète dépasse 2 °C (PNUD, 2010). A l'échelle de la sous-région ouest africaine, les changements dans les conditions climatiques pourraient aussi avoir des impacts graves sur la production rizicole (OCDE & FAO, 2008). L'augmentation des températures rendent les épillets du riz stériles, ce qui a pour conséquence la baisse du rendement en grains. Par ailleurs, les basses températures limitent la durée de la saison de croissance, le rythme de croissance et le développement des plants de riz (Chaudhary *et al.*, 2003). Les températures plus élevées affectent les rendements du riz parce qu'elles rendent les fleurs de riz stériles (Salack, 2006). Des températures élevées et basses, au-dessus et au-dessous des limites critiques, influencent le rendement en grain en affectant le tallage, la formation des épillets et la maturation du riz (Tableau 2). Selon le GIEC (2007), les principaux phénomènes qui impactent l'agriculture sont la fréquence des fortes précipitations, la progression de la sécheresse, les journées et nuits froides ou les journées et nuits chaudes, le raccourcissement de la saison agricole, les risques liés au retard de semis et les séquences sèches.

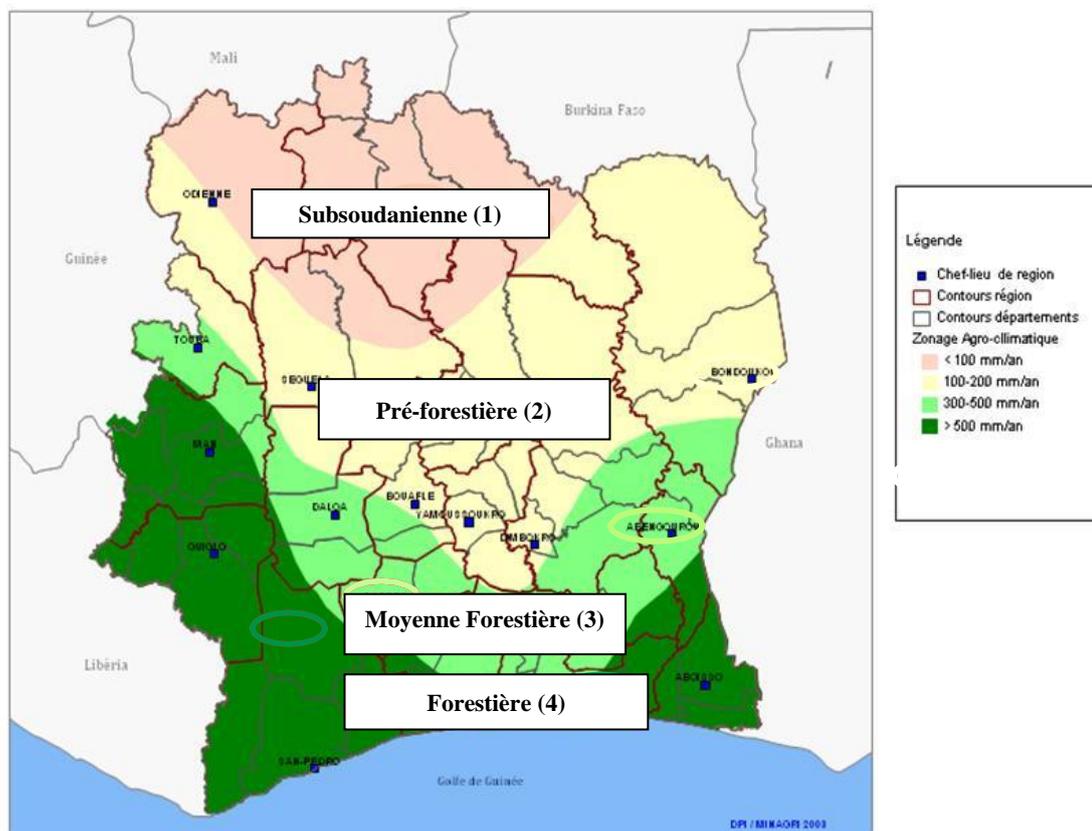
**Tableau 2 : Effet de la température sur la croissance et le développement du plant de riz**

Croissance et développement	Température basse (°C)		Température élevée (°C)		Température optimale
	Gamme	Effet	Gamme	Effet	
<b>Germination</b>	10	Inhibition	45	-	20-35
<b>Emergence des plantules</b>	12-13	Retardée	35	-	25-30
<b>Enracinement</b>	16	Nanisme	35	-	25-28
<b>Feuilles</b>	7-12	Décoloration et rabougrissement des feuilles	45	Bout blanc, bandes et bandes chlorotiques	31
<b>Tallage</b>	9-16	Réduit	33	Réduit	25-31
<b>Initiation florale</b>	15	Retardée		Panicules blanches	
<b>Initiation florale</b>	15-20	Dégénérescence du bout des panicules, Stérilité élevée des épillets	38	Nombre réduit des épillets	-
<b>Epiaison</b>	22	Epiaison incomplète, floraison retardée	35	Stérilité	30-33
<b>Grains</b>	12-18	Maturité irrégulière	30	Remplissage Réduit des grains	20-25

**Source : Chaudhary *et al.*, (2003)**

### 3.2. Changement climatique et conséquences en Côte d'Ivoire

La Côte d'Ivoire est subdivisée en quatre (04) zones agro-climatiques en fonction du régime des précipitations (Figure 4):



**Figure 4 : zones agro-climatiques en Côte d'Ivoire (Yao *et al*, 2013)**

**La Côte d'Ivoire subsoudanienne (zone 1) :** le climat est de type tropical de transition dit climat "soudanais", caractérisé par une seule saison des pluies (juin-octobre) et une saison sèche longue répartie sur sept à huit mois. La pluviométrie annuelle, très variable, est comprise entre 900 et 1400 mm, avec un déficit hydrique au-delà de 500 mm par an. Zone d'excellence de l'élevage en Côte d'Ivoire (bovins, ovins), l'agriculture de rente y est dominée par la culture du coton et de l'anacarde, tandis que les spéculations vivrières sont pour l'essentiel le riz, le maïs, le mil et l'igname.

**La Côte d'Ivoire pré-forestière (zone 2) :** c'est une zone ayant un climat équatorial de transition atténué, avec deux saisons de pluies (mai-juillet et octobre-novembre) et deux saisons sèches (décembre avril et août-septembre). La pluviométrie annuelle est comprise entre 1000 et 1500 mm, avec un déficit hydrique variant de 300 mm à 500 mm par an. Également zone d'excellence de l'élevage, l'agriculture de rente y est dominée par la culture du coton, de

l'anacarde et de la canne à sucre, tandis que les spéculations vivrières sont pour l'essentiel le riz, le maïs, le mil, le fonio et l'igname.

**La moyenne Côte d'Ivoire forestière (zone 3) :** ici, le climat équatorial de transition atténué est marqué par une pluviométrie annuelle variant de 1200 à 1600 mm et par l'alternance de deux saisons des pluies (avril-juillet et octobre-novembre) et deux saisons sèches (décembre-mars et août-septembre), avec un déficit hydrique compris entre 100 et 300 mm par an. L'agriculture de rente y est dominée par la culture du café, du cacao et de l'hévéa, tandis que les spéculations vivrières sont pour l'essentiel la banane plantain, le manioc, le riz, le maïs et l'igname.

**La basse Côte d'Ivoire forestière (zone 4) :** le climat est de type équatorial de transition pur, caractérisé par une pluviométrie annuelle supérieure à 1600 mm, et par l'alternance de deux saisons des pluies et deux saisons sèches (à l'exception de la zone montagneuse de Man où la deuxième saison sèche est quasi-inexistante), avec un déficit hydrique inférieur à 100 mm par an. L'agriculture de rente est dominée par la culture du café, du cacao, de l'hévéa, du palmier à huile, de l'ananas, de la banane douce, et de la noix de coco, tandis que les spéculations vivrières sont pour l'essentiel la banane plantain, le manioc, le riz, et le maïs. Cette zone est marquée également par les activités de pêche (MINESUDD, 2014).

En Côte d'Ivoire, les changements observés dans les moyennes de pluviométrie et de températures, témoignent de la vulnérabilité du pays face au changement climatique. Les impacts touchent tout particulièrement l'agriculture et le secteur de l'énergie mais aussi les ressources naturelles. La pluviométrie et la température ont connu des fluctuations préoccupantes au cours de ces dernières décennies, cette baisse de la pluviométrie s'est accompagnée d'une hausse de la température. Les conséquences de ce dérèglement climatique sont déjà perceptibles sur l'agriculture, les ressources en eau et l'érosion côtière. Elles ne pourront que s'accroître dans les prochaines années, sans une profonde remise en cause des modes de production et de consommation en Côte d'Ivoire. Le climat en Côte d'Ivoire a connu beaucoup de fluctuations depuis les années 1950. Les décennies 1950 et 1960 ont été relativement humides tandis que les décennies 1970 à 1990 ont été sèches. L'analyse de la normale 1971-2000 par rapport à celle de 1961-1990, montre une réduction moyenne des hauteurs de pluie de 6 % sur toute l'étendue du territoire ivoirien, avec des baisses remarquables de 13 % à Sassandra et 11 % à Adiaké, deux localités sur le littoral ivoirien situées respectivement au sud-ouest et au sud-est. La pluviométrie a été particulièrement déficitaire depuis les années 1980, par rapport à la moyenne 1951-1980. Au niveau de la thermométrie, Des études menées par la Direction Météorologique Nationale de Côte d'Ivoire (DMN) montrent que durant ces cinq dernières décennies, la Côte d'Ivoire s'est réchauffée en moyenne de 0,5 °C

depuis la décennie 80. Celle de 2001-2010 a été particulièrement chaude. Sur les dix dernières années (2001-2010), l'année 2010 a été la plus chaude avec un écart de +1,2 °C, comparée à la moyenne de la période 1961-1990, devant l'année 2008 et 2005 dont l'écart est de 0,9 °C. Par ailleurs, le régime d'harmattan, vent sec d'origine nord-est, apparaissait très peu sur le littoral ivoirien de 1961 à 1970. Depuis les années 1970, on observe une forte occurrence de ce phénomène sur le Littoral. Cela est le signe de sa généralisation sur l'ensemble du pays. La conséquence immédiate est l'accroissement des risques de feux de brousse sur l'ensemble du pays (Djè, 2014).

Le changement climatique en Côte d'Ivoire se traduit par la baisse effective de la pluviométrie depuis les trois dernières décennies. Cette baisse des précipitations s'est amorcée dès la fin des années 1960 et s'est intensifiée au cours des années 1980 et 1990 (Paturel *et al.*, 1995; Yao *et al.*, 1998). Avant la décennie 1970, le volume annuel moyen précipité était partout supérieur à 1 000 mm. Cependant, pendant la période 1970-1999, la majorité des stations, au niveau national, ont enregistré des niveaux de précipitations inférieurs à 1000 mm (Savané *et al.*, 2002). L'irrégularité des pluies (mauvaise répartition), le raccourcissement de la longueur des saisons pluvieuses, la hausse des températures, la persistance et la rigueur des saisons sèches, les inondations et les feux de brousse fréquents ont été enregistrés. Les conséquences de la variabilité climatique sont diversement ressenties dans les différentes zones agro-climatiques. Dans le Sud-Ouest, l'accès à l'eau potable est devenu de plus en plus difficile pour une partie de la population au cours de la saison sèche. La situation est plus préoccupante au cours des années particulièrement sèches, comme ce fut le cas en 1983 où les populations furent contraintes de parcourir de longues distances, à la recherche de cours d'eau permanents. Ce constat a pour effet de rendre à la fois plus aléatoire et sujet à compétition l'approvisionnement en eau au cours de cette période. Aussi, le recreusement des puits pendant la saison sèche et le creusement de nouveaux puits dans le lit des rivières ont vu le jour. Dans les régions de savane du Nord, la réduction de la pluviométrie est venue accentuer les inégalités d'accès à l'eau potable. Il est aussi devenu difficile d'abreuver le bétail. Il en résulte un allongement des distances à parcourir pour satisfaire les besoins animaliers. (Brou *et al.*, 2005).

Aussi, les changements climatiques se sont traduits par des événements météorologiques extrêmes plus fréquents et plus intenses. Ces événements pourraient être à l'origine de divers aléas naturels tels que les inondations, l'érosion, les glissements de terrain et la submersion. Les changements moyens dans les températures et les précipitations se traduiront aussi par des changements dans divers types d'événements climatiques, dont la probabilité d'occurrence est

plus ou moins bien connue. Le scénario montre une hausse de la température de 3°C d'ici 2100 sur la majeure partie du pays allant du nord au sud. Le scénario de la pluviométrie indique une baisse journalière de 8% des précipitations pendant la saison d'avril à juillet durant les cent prochaines années. La modification des paramètres climatiques ces trois dernières décennies, a occasionné une inadéquation entre les calendriers de la météorologie et ceux des saisons culturelles. Des études de la SODEXAM montrent que la saison des pluies s'est raccourcie en moyenne de 10 à 27 jours sur le littoral avec un retard de démarrage de deux semaines en moyenne. A l'intérieur du pays, on observe une réduction de la longueur de la saison de 10 à 20 jours dans le Nord, de 20 à 30 jours dans le Sud intérieur et de 10 à 28 jours au Centre. Les retards de démarrage de la saison varient d'une à deux semaines selon la localité. Une étude indique aussi qu'en Côte d'Ivoire, les perturbations pluviométriques ont eu un impact significatif sur la production du cacao dont le rendement a chuté de plus de 20 % pendant les épisodes El Niño par rapport aux campagnes précédentes (Djè, 2014). Par ailleurs, les déficits de production constatés et amplifiés par les modifications climatiques mettent à mal la sécurité alimentaire des populations qui dépendent directement de ce qui est produit dans les exploitations agricoles pour couvrir leurs besoins en alimentation. Les impacts des changements se traduisent aussi par la perte des récoltes liée aux calamités telles que les inondations, la sécheresse, les feux de brousse qui sont d'origine climatique (Djè, 2014).

### **3.3. Mesures de lutte contre le changement climatique : Adaptation et atténuation**

Au cours des siècles, les sociétés humaines ont appris à développer des capacités d'adaptation aux changements climatiques. Pour faire face aux risques climatiques, il est possible d'agir en prévention de l'aléa climatique par l'exploitation des techniques agricoles telles que l'irrigation, l'utilisation de variétés adaptées, l'adaptation et le respect du calendrier cultural, l'utilisation des techniques de conservation des eaux et des sols (Chetaille & Lagandré, 2010). C'est ainsi que les pratiques agricoles ont dû s'adapter (Agossou *et al.*, 2012; Beavogui, 2012).

Au Burkina Faso, diverses techniques de collecte et de conservation de l'eau de ruissellement sont de plus en plus vulgarisées et maîtrisées par les populations (Ouédraogo *et al.*, 2010; Ouédraogo & Ouoba, 2017). Des glacis ont été récupérés au profit des terres agricoles (Savadogo *et al.*, 2011). L'addition au sol de la matière organique d'origine animale par les agriculteurs au début de la saison des pluies a fait augmenter l'activité des termites qui en construisant des tunnels servant à collecter des eaux des pluies ont fait réduire l'évaporation tout en augmentant la fertilisation des sols (Adger *et al.*, 2003). Au Mali, grâce à l'assistance agro-hydrométrologique aux communautés rurales comme stratégie d'adaptation, la production a

augmenté en moyenne de 42 % pour le mil, 35 % pour le sorgho et 68% pour le maïs dans toute la zone couverte par ces activités (Huq *et al.*, 2004). Aussi, l'emploi du paillis et d'autres résidus de cultures contribue à l'adaptation lorsque les précipitations sont irrégulières ou de plus grande intensité. La biomasse absorbe l'énergie des gouttes de pluie tombantes, ce qui permet à l'eau de pluie de lentement se répandre à la surface où elle s'infiltré dans un sol poreux et intouché (Woodfine, 2010). Au Sénégal, en basse-Casamance, les paysans diversifient leurs sources de revenus en délaissant la riziculture au profit de l'exploitation forestière, du transport, de la pêche et du commerce (Sy & Sané, 2008).

En Côte d'Ivoire, Les changements agro-écologiques résultant à la fois des modifications climatiques mais aussi de la surexploitation de la ressource forestière (Léonard and Oswald, 1996); Verdeaux *et al.*,1998), engendrent progressivement diverses stratégies (Koné,2003) et une pluralité de réponses d'adaptation ou d'atténuation : rationalisation de la gestion de l'espace, de l'utilisation des intrants et du temps de travail ; quête de la sécurité alimentaire par un ajustement des besoins aux disponibilités alimentaires et une diversification des sources de revenus.

Au niveau de l'évolution des systèmes de culture, des modifications dans le calendrier cultural et dans les options culturelles ont été observées.

Dans le centre ouest, les semis tardifs, permettant de s'aligner au démarrage des pluies. La diversification des cultures ou même l'abandon du riz au profit d'autres cultures sont des stratégies d'adaptation mises en œuvre par les producteurs (Dolumbia & Depieu, 2013).

Dans le sud-ouest, pour la culture du riz, les travaux de préparation des champs, qui par le passé, commençaient dès le mois de novembre ou de décembre, ont connu des modifications. Cette tradition culturelle est aujourd'hui perturbée par le retard du début des pluies et la quasi-disparition de l'écosystème forestier, avec le risque d'entraîner une disparition totale du riz précoce dont le semis se faisait en février. À l'est, les nouvelles conditions climatiques ont également précipité certaines évolutions. Ainsi la période de préparation du sol et de défrichage qui s'étend du mois de décembre à la deuxième décade de mars, connaît un prolongement jusqu'à la mi-avril, voire la fin de ce mois, repoussant d'autant l'opération des semis. De plus, par crainte de voir mourir leurs semences et pour éviter les opérations multiples de ressemage, les paysans attendent désormais la saison effective des pluies qui se situe au mois de mai au lieu d'avril. En ce qui concerne le café et le cacao, les récoltes qui se faisaient à partir du mois d'octobre jusqu'au mois de décembre pour le cacao et de septembre à janvier pour le café, connaissent aussi des bouleversements, de sorte que les récoltes effectives se font maintenant en décembre.

Dans le nord, afin d'éviter les conflits parfois sanglants entre agriculteurs et éleveurs, à cause de la compétition pour l'accès à l'eau en saison sèche, les premiers ont pris l'habitude d'écourter l'activité agricole. Par conséquent, les cultures à cycle long telles que les tubercules (igname et manioc) disparaissent progressivement de l'activité agricole de la région parce qu'elles se révèlent être de plus en plus inadaptées au nouveau calendrier agricole. L'accent est désormais mis sur les cultures à cycle plus court et demandant des travaux agricoles plus hâtifs. Les variétés de plantes cultivées les plus recherchées sont celles qui exposent moins le paysan aux incertitudes des débuts de saison pluvieuse ainsi qu'à ses interruptions brutales. Dans le nord, les paysans privilégient les cultures de coton et de maïs pour lesquelles les techniques de production se sont améliorées. Ainsi, du fait du passage de la culture traditionnelle à la culture attelée et mécanisée, on assiste d'année en année à une augmentation considérable des superficies cultivées. Les cultures vivrières (igname, riz, mil, etc.), connaissent une chute de production.

Dans le sud-ouest, la diversification des activités économiques est utilisée comme stratégie de sécurisation des revenus par les paysans. Ainsi, certains ont opté pour de nouvelles cultures telles que l'hévéa, le coton et l'anacarde. D'autres se sont tournés vers de nouvelles activités comme la pisciculture qui commence à être une alternative économique pour les populations du Sud-Ouest et du Centre- Ouest.

Dans la région est, pour contourner la faiblesse des revenus, mais aussi leur instabilité depuis la libéralisation des filières liées à la baisse des rendements du café et du cacao, la solution trouvée par certains agriculteurs a été de développer les cultures maraîchères.

Afin de renforcer la sécurité alimentaire, deux phénomènes sont observés au niveau des populations: (1) la mise en culture de variétés plus précoces et plus rustiques liées à la valorisation des bas de pente, des bas-fonds non inondables et des cuvettes à inondations peu fréquentes; (2) la modification des habitudes alimentaires des populations.

Au niveau de la riziculture, la production nationale est essentiellement le fait de la riziculture pluviale qui fournit jusqu'à ce jour près de 90 % du paddy ivoirien (Brou *et al.*, 2005). Mais du fait de la variabilité de la répartition annuelle des précipitations, les risques d'échecs associés à ce type de riziculture sont devenus importants. En effet, la probabilité que la sécheresse affecte la culture pendant la campagne agricole normale peut atteindre 25 % dans certaines régions comme la zone de transition climatique forêt savane. Un rendement minimum de 3 T/ha de paddy était alors possible (Brou *et al.*, 2005). Aussi, afin d'assurer un minimum de garantie de production annuelle de paddy, un programme d'aménagement pour la création d'exploitations irriguées a été mis en œuvre par le Gouvernement. Il concernait les

principales régions du pays (Nord, Sud, Est, Ouest et Centre) (Aw and Güsten, 1975) Ainsi, pratiquement insignifiante en 1960, la riziculture irriguée avec maîtrise partielle de l'eau s'est progressivement développée pour couvrir aujourd'hui environ 25 000 hectares, fournissant près de 10 % du paddy ivoirien, soit 90 000 tonnes (Brou *et al.*,2005). Il n'est donc pas rare d'observer que, dans le sud-ouest, les populations qui pratiquent traditionnellement la culture du riz sur les plateaux, exploitent de plus en plus les bas de pentes et surtout les bas-fonds à des fins rizicoles. Le recours à ces espaces permet de réduire la dépendance de ces cultures vis-à-vis de la pluviosité, grâce à l'irrigation, soit à l'arrosoir, soit à la motopompe pour les exploitants qui disposent de moyens financiers plus importants. Ces espaces permettent par ailleurs, la production de cultures maraichères qui peuvent être récoltés en contre-saison, ce qui les rend dans certains cas plus intéressants que le cacao et le café qui fournissent des revenus par hectare très inférieurs et parfois même des revenus par journée de travail plus bas (Bonjean *et al.*,2001). Pour leur part, les producteurs situés dans le nord du pays, où les effets de la réduction pluviométrique sont plus marqués, ont modifié la répartition des cultures dans l'espace. Les cultures sensibles aux stress hydriques, comme le riz pluvial, sont de plus en plus cultivées dans les bas-fonds et aux abords des rivières. Sur l'ensemble de la région forestière, les paysans modifient également les associations culturales pratiquées : la banane, par exemple, plante hygrophile, est associée désormais au cacaoyer dont l'ombrage permet de réduire le phénomène d'évapotranspiration. Des cultures moins sensibles au manque d'eau et aux feux de brousse sont également introduites, comme l'anacardier dans l'est et le nord.

La vulnérabilité des cultures à la variabilité climatique, traduite par des risques de plus en plus élevés de pertes de récoltes, surtout pour les cultures vivrières à cycle végétatif long (au cours des années exceptionnellement sèches), contribue aussi à faire évoluer les habitudes alimentaires. Dans le Sud forestier, à cause de la réduction de la longueur de la grande saison pluvieuse, les cultures à cycle long (plus de 120 jours) ne sont plus adaptées (Brou *et al.*,2003). Il en est ainsi des semis précoces (début mars) et du riz tardif, mais surtout du bananier plantain, la grande saison humide se prolongeant de moins en moins jusqu'à la fin du mois de juillet.

La région des savanes du Nord où les conditions éco-climatiques sont déjà rigoureuses à cause de l'existence d'un régime pluviométrique unimodal et de la faiblesse des hauteurs pluviométriques annuelles, apparaît comme la région la plus vulnérable aux incertitudes du climat. Les cultures vivrières moins sensibles à la sécheresse tendent à être plus consommées. En revanche, celles qui sont très vulnérables aux années à saisons sèches marquées, connaissent un recul dans l'alimentation quotidienne des populations. Dans le Sud-Ouest, le riz est aujourd'hui l'aliment de base, loin devant la banane et le manioc. Dans l'est du pays, le

changement de style alimentaire apparaît aussi comme une réponse locale aux risques agricoles. Contrairement au Centre (Bouaké, Yamoussokro, etc.) où la consommation principale est l'igname, dans l'est de la Côte d'Ivoire l'aliment principal est la banane. Aujourd'hui, les populations se tournent de plus en plus vers le riz et le maïs ou encore mélangent la banane avec d'autres produits. Au sud-est, le riz n'était consommé que lors d'événements exceptionnels est synonyme de disette alimentaire.

Face à la raréfaction actuelle de la banane, à la réévaluation de son prix sur le marché, un compromis alimentaire a été trouvé : on confectionne désormais le plat de foutou en associant le manioc et la banane. Ainsi, sous les contraintes de la baisse des rendements des principales cultures à cause de la modification des conditions bioclimatiques, le riz a pris de la valeur dans le système de représentation.

En pays sénoufo, le maïs est la culture la mieux adaptée aux conditions climatiques actuelles. Il bénéficie, avec le coton, de meilleures techniques d'encadrement et apparaît aujourd'hui comme l'aliment qui assure une relative sécurité alimentaire dans ces régions de savane du Nord. Ainsi les repas à base de farine de maïs sont devenus la nourriture la plus consommée dans la région, relayant au second plan le foutou igname et le riz. (Brou *et al.*, 2005).

Quelques soit les stratégies et les systèmes de cultures déployés pour faire face aussi bien aux adventices qu'au changement climatique, ceux-ci devront au préalable faire l'objet d'une évaluation qui permet de juger de leur efficacité et de leur rentabilité.

### **3.4. Evaluation des systèmes de cultures**

D'après Milleville (1987), les pratiques culturales sont la mise en œuvre des techniques culturales par l'agriculteur. Elles sont le résultat d'une intention de faire qui est fonction de l'objectif de l'agriculteur et sont fortement marquées par les conditions concrètes de réalisation des techniques culturales (Papy, 1998). Proposer de nouvelles pratiques culturales, c'est alors proposer de nouvelles techniques culturales en prenant en compte les conditions de réalisation de ces dernières, ainsi que les objectifs visés par l'agriculteur. Ceci implique la prise en compte de la dimension technique et de la dimension décisionnelle de l'intervention. Par exemple, la proposition de nouvelles pratiques d'irrigation ou de fertilisation procède d'une phase préalable d'évaluation de ces pratiques (Meynard, Doré, & Habib, 2001). En considérant dans un premier temps uniquement la dimension technique, l'évaluation des pratiques consiste à évaluer différentes techniques culturales et donc différents itinéraires techniques (Reau & Doré, 2008). Si la modification des pratiques de fertilisation ou d'irrigation a un impact direct sur la culture

à l'échelle de la parcelle, elle a aussi un impact sur les autres cultures, modifiant le niveau de ressources en fertilisant et en eau disponible. La proposition et l'évaluation de nouvelles pratiques d'irrigation et de fertilisation peut alors s'inscrire dans le cadre plus général de l'évaluation et de la conception de nouveaux systèmes de culture (Meynard *et al.*, 2001).

Plusieurs démarches sont à la disposition des agronomes pour accomplir ces tâches de conception et d'évaluation. Parmi ces démarches, il y'a principalement l'évaluation expérimentale au champ et la simulation ou l'expérimentation virtuelle (Jeuffroy *et al.*, 2008; Loyce & Wery, 2006).

#### **3.4.1. Évaluation par expérimentation agricole**

L'évaluation expérimentale au champ a pour but de tester les performances et la faisabilité d'itinéraires techniques conçus en amont, au regard de conditions pédo-climatiques variées (Loyce *et al.*, 2008). Les méthodes d'évaluation comprennent trois niveaux : une évaluation globale sur la satisfaction des objectifs assignés aux itinéraires techniques, une évaluation agronomique des facteurs expliquant la non-atteinte des objectifs et une évaluation analytique des règles de décision ayant servi à la construction des itinéraires techniques. Certaines limites restent attachées à cette méthode. L'évaluation sur la base d'observations de terrain est une activité financièrement et techniquement lourde qui limite la multiplication des situations pédoclimatiques différenciées (Aubry *et al.*, 1996). Les gammes explorées sont limitées à ce qui est techniquement réalisable du fait des moyens disponibles mais aussi, à ce que les experts et chercheurs sont en mesure de proposer et d'évaluer. De plus, la temporalité associée à ce type de démarche implique un temps relativement long entre la formulation des hypothèses de départ et leurs vérifications, ce qui limite la vitesse de diffusion des résultats. Enfin l'échelle spatiale considérée n'est pas toujours adaptée à certains aspects agronomiques qui impliquent des échelles plus vastes, comme dans le cas des dynamiques de population de ravageurs (Debaeke *et al.*, 2008).

#### **3.4.2. Evaluation par expérimentation virtuelle : Modélisation agricole**

L'évaluation et la conception de nouveaux itinéraires techniques ou de systèmes de cultures par simulation s'inscrit dans une démarche complémentaire à l'expérimentation (Jacques-Eric Bergez *et al.*, 2010; Loyce & Wery, 2006). Cette approche permet de quantifier simultanément les effets de différents facteurs sur les performances du système étudié (Boote *et al.*, 1996). La simulation, au travers de l'utilisation de modèles de cultures, offre la possibilité d'explorer une gamme plus vaste de situations dans un intervalle de temps restreint (Semenov *et al.*, 2009) et

permet de simuler l'effet des interactions entre le climat, le type de sol et les techniques culturales sur le fonctionnement de la culture. La simulation permet également d'évaluer les systèmes de cultures sur le long terme tout en prenant en compte les aléas climatiques (Colbach *et al.*, 2016). Elle peut permettre, en fonction du modèle de cultures utilisé, d'avoir accès à une diversité d'indicateurs difficilement accessibles par expérimentation. Les modèles de cultures offrent ainsi un cadre pour étudier les interactions entre les différentes variables du système.

Pendant longtemps l'expérimentation a été le seul point d'appui pour l'évaluation des systèmes de culture. Celle-ci consiste en des essais en station expérimentale sur des parcelles de taille réduite. Si ces méthodes se sont révélées efficaces, elles s'avèrent insuffisantes pour tester des systèmes dans un climat variable et des sols diversifiés car trop longues et trop coûteuses. D'autres approches, parmi lesquelles figure la modélisation agronomique, sont développées par des chercheurs.

La modélisation du champ cultivé est une méthode alternative à l'expérimentation au champ et est en plein développement. Le développement de ces méthodes est assez récent, car il a été rendu possible notamment par l'amélioration de la capacité de calcul et de stockage des ordinateurs. De tels modèles permettent d'évaluer de grands nombres de systèmes de culture, sur de nombreux critères dans une gamme de contextes biophysiques variés (Tixier *et al.*, 2008). Certains modèles permettent même la génération automatique et en grand nombre de combinaisons qui sont ensuite automatiquement évaluées et triées en fonction des objectifs recherchés (Loyce & Wery, 2006). Ces modèles sont de plus en plus souvent couplés à des modèles décisionnels et permettent d'optimiser des règles de décision et d'en tester de nouvelles (Bergez, *et al.*; 2002).

Ces approches possèdent néanmoins quelques limites. D'une part elles prennent peu en compte la diversité des contextes économiques et techniques dans lesquels devront s'insérer les innovations, et d'autre part, elles sont le plus souvent limitées aux capacités du modèle biophysique et donc restreintes à des gammes d'innovations de moindre ampleur que celles pratiquées par les agriculteurs. Toutes ces approches sont basées sur des indicateurs qui correspondent soit à des valeurs mesurées directement, ou bien sur des indicateurs plus sophistiqués qui combinent plusieurs types de données qui peuvent être mesurées au champ, simulées avec des modèles ou fournies par des experts (Tixier *et al.*, 2008).

### **3.4.3. Typologie des modèles de cultures**

Les modèles de cultures sont une représentation simplifiée d'un système (Jeuffroy *et al.*, 2008). Ils sont constitués d'un ensemble de relations mathématiques décrivant le fonctionnement du

système sol-plante en interaction avec le climat et les opérations techniques. Pour ces raisons, les modèles de culture sont aussi appelés modèles biophysiques ou encore modèles biotechniques. Les équations mathématiques, appelées formalismes, sont constituées de variables d'état, qui caractérisent l'état du système à différents pas de temps, et de paramètres, qui définissent l'intensité des relations entre les variables d'état du système (Wallach *et al.*, 2006).

A partir de la nature des relations mathématiques introduites, deux types de modèles se distinguent généralement. Les modèles mécanistes décrivent et quantifient les mécanismes et les processus qui interviennent au niveau de la plante et du sol en se basant sur la formalisation d'hypothèses concernant le fonctionnement physiologique et physique du système étudié. Les modèles empiriques décrivent, quant à eux, l'évolution du système au travers de relations simplifiées entre les différentes variables sans fournir d'explications sur le fonctionnement biologique ou physique. Les équations décrivant les relations sont le plus souvent obtenues à partir d'ajustements statistiques entre les différentes variables d'état mesurées (Jeuffroy *et al.*, 2008; John & Passioura, 1996).

Les modèles de cultures se situent à l'interface des deux catégories présentées (Hammer *et al.*, 2002). Étant constitués d'un ensemble d'équations mathématiques formalisant les hypothèses sur le fonctionnement du système sol-plante et regroupées par processus, ils peuvent être considérés comme mécanistes. Cependant, ils peuvent intégrer des relations de type empirique entre les variables caractérisant les différents processus et peuvent être considérés empiriques (Brisson *et al.*, 2006).

Une classification des modèles de culture existe en fonction du nombre de cultures prises en charge et des choix de formalismes opérés lors de l'élaboration du modèle de culture. Les modèles de cultures spécifiques sont distingués des modèles de cultures génériques.

#### **3.4.4. Modélisation appliquée au riz**

Des modèles, simulant la riziculture, ont été mis au point. Parmi ceux-ci, des modèles relativement complexes, élaborés pour simuler des cultures de riz sous contraintes hydriques et nutritionnelles sont rencontrés : ORYZAIN (Aggarwal & Mall, 2002); ECOMERISTEM (Luquet *et al.*, 2005) et CERES-Rice (Nain & Kersebaum, 2007).

A côté de ces modèles, des modèles moins complexes qui ne prennent pas en compte des contraintes nutritionnelles, mais qui sont tout aussi efficaces pour simuler la culture de riz sont identifiés. Parmi ces derniers, le Potential Yield Estimator (PYE) (Affholder *et al.*, 2012), qui est un modèle de cultures permettant de simuler le rendement potentiel limité par le stress

hydrique et adapté au contexte tropical, est répertorié. Il simule le développement de la culture à pas de temps journalier et permet de sortir les rendements potentiels en fin de cycle. Il a déjà démontré son efficacité dans différents contextes tropicaux (Bertrand, 2011; Luu, 2012).

Après la présentation de la synthèse bibliographique dans la première partie, la seconde partie présentera l'ensemble du matériel et les méthodes mises en œuvre dans le cadre de cette étude.

## **DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES**

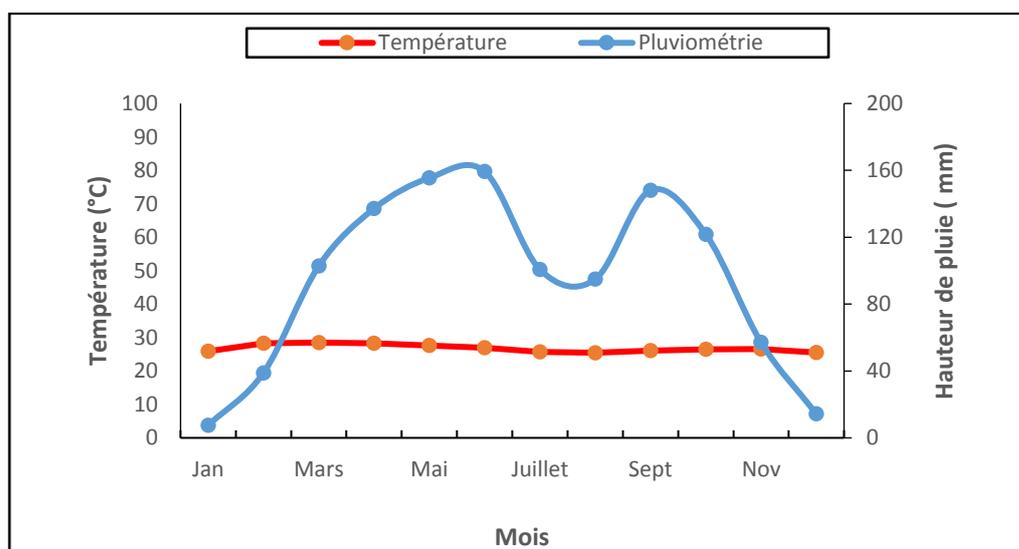
# CHAPITRE 4: ZONE D'ÉTUDE, SITE EXPÉRIMENTAL, MATERIELS ET DONNEES D'ETUDE

## 4.1 Caractéristiques de la zone d'étude et du site expérimental

La zone d'étude est le département de Yamoussoukro (latitude 6,85 Nord ; longitude : 5,29 Ouest ; altitude : 214 m) qui est localisé dans la Côte d'Ivoire pré-forestière marquée par une variabilité climatique qui se traduit par un déficit hydrique compris entre 300 et 500 mm par an (MINESUDD, 2014). Ce département s'étend sur 1325 km<sup>2</sup> et comporte les sous-préfectures de Yamoussoukro et de Kossou (Figure 5).

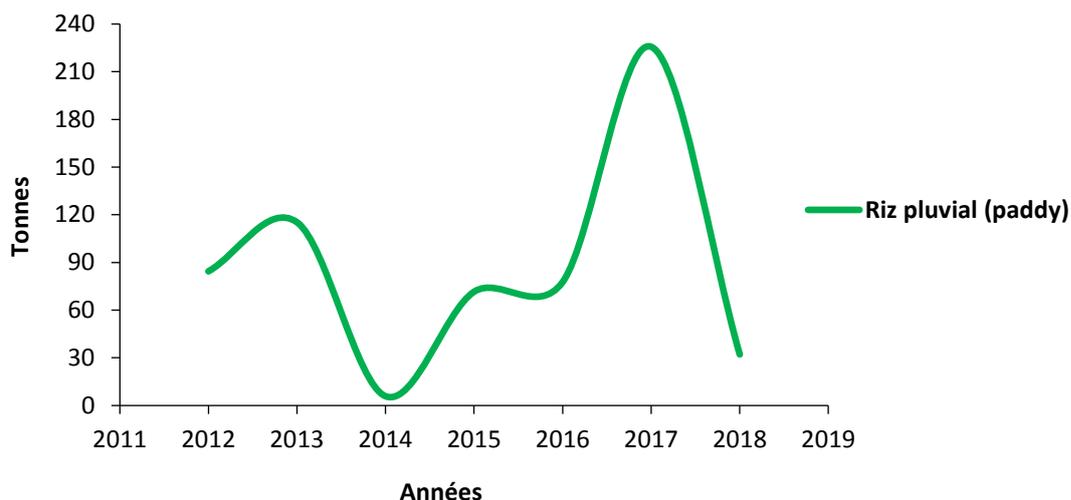


Le département compte 310 056 habitants (RGPH,2014) avec une densité de 234 hab/km<sup>2</sup>. Il est constitué de nombreux ethnies mais est dominée par les autochtones baoulés. La diversité ethnique est due aux mouvements de populations liés aux besoins de main-d'oeuvre agricole. La population est composée de 70% de jeunes de moins de 30 ans. Le secteur primaire, notamment l'agriculture, joue un rôle important dans l'économie locale. Il occupe une grande partie des actifs. Le climat de la zone est de type équatorial de transition avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 et 1500 mm. Selon les critères de Bagnouls et Gaussen (1957), le régime pluviométrique est monomodal avec deux saisons. La saison des pluies débute en mars et prend fin en novembre avec toute cette période qui est humide. Le mois le plus pluvieux est celui de juin avec en moyen 160 mm de pluie. Les mois les moins pluvieux sont ceux de juillet et août avec des moyennes comprises entre 95 et 101 mm de pluie. La saison sèche débute en décembre et prend fin en février avec des moyennes comprises entre 7,57 mm et 38,90 mm. La température varie de 25,46 °C à 28,5°C avec une moyenne de 26°C. (Figure 6).



**Figure 6 : diagramme ombrothermique du département de Yamoussoukro (données Sodexam sur la période 1980-2017)**

L'humidité relative y varie entre 75% et 85% avec des chutes à 40% en période d'harmattan. Le relief de la zone est relativement plat avec de faibles pentes. La végétation naturelle est dominée par la savane pré-forestière où abondent en saison des pluies des Gramineae, des Cypéraceae et des Dicotylédones. Le réseau hydrographique est principalement constitué du fleuve Bandama, du N'Zi, du lac de Kossou et de petits cours d'eau (MEMPD, 2016). La production du riz dans le département s'élève en moyenne 3857T/an dont 3769 T/an pour le riz irrigué et seulement 88 T/an pour le riz pluvial. La production du riz pluvial connaît une forte baisse depuis 2017 en partie du fait des adventices et des aléas climatiques (Figure 7).



**Figure 7 : évolution de la production du riz pluvial dans le département de Yamoussoukro (données d'enquête)**

Le site expérimental de l'étude est une parcelle paysanne localisée sur le terroir du village de N'Gattakro (Figure 5), à 1 km de l'aéroport de Yamoussoukro (latitude 6.904614 ; longitude : -5.362358 ; altitude : 206 m). Les sols de ce site sont sablo-argileux, de pH(H<sub>2</sub>O) de 5,5, de granulométrie 74,5% de sable, 13,5% d'argile et 9,5% de limon avec une Reserve Utile (RU) estimée à 70 mm (Sodexam, 2013).

## 4.2. Matériels et données d'étude

### 4.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué du NERICA 1 « Nouveau Riz pour l'Afrique » qui est une variété pluviale introduite en Côte d'Ivoire en 1996. Elle résulte d'un croisement interspécifique entre *Oryza sativa* (L.), variété de riz asiatique à haut rendement et *Oryza glaberrima* (Steud), variété de riz originaire d'Afrique, moins productive mais résistante aux stress biotiques et abiotiques des conditions africaines de culture (Angladette, 1966). Les variétés hybrides NERICA sont à la fois productives comme leurs parents asiatiques et résistantes comme leurs parents africains (WARDA, 2008). Le choix du NERICA 1, dans le cadre de cette étude, se justifie par le fait que, comparativement à plusieurs variétés de riz pluvial, le NERICA 1 est plus compétitive vis-à-vis des adventices. De plus, c'est une variété de cycle court qui tolère relativement bien la sécheresse (Koné *et al.*, 2008). Recommandée par la recherche, cette variété s'adapte bien à notre zone d'étude marquée par d'importants risques climatiques. NERICA 1 a un cycle de 100 jours. Sa phase végétative dure 45 jours et le stade mi-épiaison dure 75 jours après semis. Son rendement potentiel en riz paddy est de 4,5 T/ha. Les semences utilisées au

cours des essais proviennent d’Africa Rice Côte d’Ivoire (Bouaké). Les coefficients culturaux du riz pluvial (kc), suivant ses stades de croissance, nous ont été fournis par le bulletin n°56 de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

#### **4.2.2. Matériel technique**

Le matériel technique se compose de cadres métalliques d'un mètre de côté utilisé pour la matérialisation des points d'échantillonnage, de houes, d'un mètre ruban, de cordeaux, de piquets, de sachets, de rouleau de papier, d'une étuve pour le séchage de la biomasse, d'étiquettes métalliques, d'un appareil photographique numérique et du papier journal. Un pulvérisateur à dos, muni d'une rampe de pulvérisation, a été utilisé pour les traitements phytosanitaires. Une balance a été utilisée pour la pesée de la biomasse et des grains pour le rendement.

#### **4.2.3. Matériel informatique**

Le matériel informatique comprend principalement les logiciels d'analyse statistique que sont EXCEL version 2007 (© 2008 Microsoft Corporation), XLSTAT version 2018 (© Addinsoft 1995-2019), INSTAT+ version 3.036 (© 2006 Statistical Service Centre, The University of Reading, United Kingdom) et le logiciel d'analyse d'image IMAGEJ version 1.45s, 2012 (©National Institutes of Health, USA).

Le logiciel EXCEL version 2007 a permis d'effectuer la saisie des données climatiques, des données issues de l'expérimentation agricole et des données provenant de la sortie des modèles ainsi que leur traitement. Il a permis également de calculer les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), les valeurs des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et les valeurs des Indices d'agrément (IA) afin de vérifier que les valeurs simulées par les modèles correspondent bien aux valeurs observées.

Le logiciel XLSTAT version 2018, logiciel d'analyse statistique pour Microsoft Excel, a permis de réaliser les graphiques, d'analyser les anomalies standards à travers l'Indice de Lamb et d'effectuer différents tests sur les séries climatiques, notamment le test de Pettitt (1979) et celui de Student. Il a permis également d'effectuer les analyses de variance aussi bien des résultats de l'expérimentation agricole que ceux de l'expérimentation virtuelle.

Dans le cadre de cette étude, C'est une analyse multivariée de la variance (MANOVA) qui a été utilisé en lieu et place de l'ANOVA classique pour tenir compte des relations qui existent entre les variables mesurées lors des expérimentations. Ceci afin de réduire le risque d'erreur de type I qui consiste à rejeter l'hypothèse H0. En cas de différence entre les traitements, relevée par la

MANOVA, le test de Fisher, au seuil de 5%, a été utilisé pour la comparaison des moyennes afin d'opérer une ségrégation entre les traitements. Le test de Fisher a été utilisé car, contrairement aux autres tests post hoc, il confirmait les résultats de la MANOVA et était conforme à la nature de nos données.

Le logiciel Instat+ version 3.036, logiciel d'analyse statistique de données agro-climatologiques et modèle de simulation agrométéorologique, a été utilisé pour déterminer les facteurs clés des saisons agricoles, notamment les dates de début et de fin de la saison des pluies, la longueur de la saison des pluies et la durée des séquences sèches selon des critères prédéfinis. Il a permis également de réaliser des analyses fréquentielles d'événements agro-climatiques (températures élevées, séquences sèches, date de démarrage de saison tardive, fin de saison précoce, saison pluvieuse courte etc.) pour des niveaux de probabilités 20, 50 et 80%.

Le logiciel d'analyse d'image IMAGEJ version 1.45s, 2012 a été utilisé pour analyser les images des feuilles scannées afin de déterminer l'indice de surface foliaire (LAI) du riz.

#### **4.2.3. Données de l'étude**

Les données météorologiques concernent principalement les données climatiques journalières de 37 années (1980-2017). Elles proviennent de la station météorologique de la SODEXAM de Yamoussoukro (latitude Nord 6.90 ; longitude Est : -5.37), située à 1 km du site d'essai. Les données fournies par cette station sont caractéristiques de la zone d'étude et sont constituées de la température minimale et maximale, de l'humidité relative minimale, maximale et moyenne, de la radiation globale, de la vitesse moyenne du vent et de la hauteur de pluie. Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la zone ont été calculées suivant la formule de Penman-Monteith (FAO, 1998).

Concernant les données pédologique, le sol du site d'essai est sablo-argileux, de  $pH_{(H_2O)}$  de 5,5 et la granulométrie est de 74,5% de sable, 13,5% d'argile et 9,5% de limon, avec une réserve utile (RU) estimée à 70 mm (SODEXAM, 2013).

Aux matériels et données d'étude présentés plus haut, ont été adjointes des méthodes de recherche qui ont permis l'atteinte des objectifs de l'étude.

## CHAPITRE 5 : MÉTHODOLOGIE

### 5.1. Méthodologie de l'expérimentation au champ

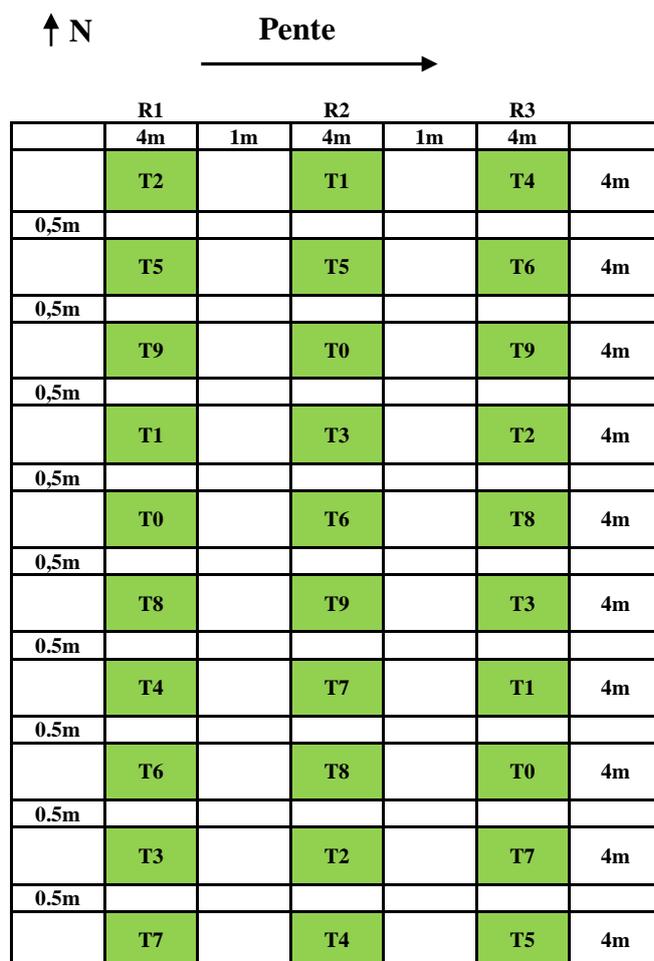
L'expérimentation au champ a été menée en vue d'évaluer les performances de huit méthodes de lutte contre les adventices sur le riz pluvial et sur la population d'adventices.

Deux essais ont été conduits, en condition strictement pluviale, durant la seconde moitié de la saison des pluies (septembre-novembre), durant les deux années consécutives de 2016 et 2017, sur le site expérimental de la parcelle paysanne du village de N'Gattakro. La variété de riz pluvial de cycle court (NERICA 1) a été utilisée lors des essais.

#### 5.1.1. Conduite des essais et dispositif expérimental

L'essai de 2016 a été semé le 05 septembre. En 2017, le semis a eu lieu le 13 septembre. Les précédents culturaux étaient des jachères de moins d'un an. Les travaux de préparation de terrain ont consisté en un labour effectué à l'aide d'un tracteur à disques suivi d'un travail du sol à la houe pour préparer le lit de semis. Les essais ont été mis en place selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec trois répétitions pour tenir compte de la pente observée sur le site expérimental (Figure 8). Chaque parcelle élémentaire était constituée de 20 lignes de 4 m de long de dimension 4 x 4, soit 16 m<sup>2</sup>. Chaque unité expérimentale de 16 m<sup>2</sup> comportait 400 poquets soit 25 poquets par m<sup>2</sup>. Le riz a été semé en poquet à raison de six graines en moyenne par poquet à 1 à 2 cm de profondeur et la géométrie de semis adoptée était de 0,20 m entre les lignes et 0,20 m entre les poquets d'une même ligne, soit une densité de 250 000 poquets.ha<sup>-1</sup>. Les plants ont été démariés à trois pieds par poquet, en condition humide, avant le tallage. Les fertilisations chimiques ont été effectuées conformément aux recommandations de la recherche agronomique. Il s'agissait d'un épandage d'engrais N-P-K à 10-18-18 incorporée au semis à la dose de 300 kg/ha et d'une application d'urée au 30<sup>e</sup> jour après semis (JAS) à la dose de 75 kg/ha. Des traitements contre les insectes et nématodes ont été effectués et une barrière de protection a été installée pour éviter l'intrusion des ravageurs et autres animaux. Les traitements suivants ont été évalués au cours des essais : T0 (témoin négatif), parcelle enherbée du semis à la récolte ; T1 (témoin positif), parcelle maintenue propre du semis à la récolte ; T2 (pratique paysanne), deux sarclages : 14JAS et 21JAS ; T3, herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage : 1JAS + 21JAS ; T4, herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage + paillage ( 3T/ha de paille de riz) : 1JAS+21JAS +21JAS ; T5, herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage : 14JAS + 30JAS ; T6, herbicide de post-émergence (360g/l de

Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage + paillage (3t/ha de paille de riz) : 14JAS+30JAS+30JAS ; T7, sarclage + paillage (3t/ha de paille de riz) + herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) : 14JAS+14JAS+30JAS ; T8, sarclage + herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha): 14JAS+30JAS ; T9, Paillage + herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) : - 1JAS+14JAS. Les traitements T8 et T9, absents lors de l'essai de 2016, ont été rajoutés à l'essai effectué en 2017. Le choix et la combinaison des méthodes de lutte ont été réalisés en fonction des pratiques paysannes, de la disponibilité des herbicides homologués en Côte d'Ivoire et en fonction des périodes et modalités d'application de chacune des méthodes de lutte qui composent les traitements. Les opérations culturales telles que la préparation du terrain et le choix d'une bonne semence sont des constantes réalisées par la quasi-totalité des producteurs. La différence s'opérant au niveau de la mise en œuvre des quatre opérations majeurs qui composent les traitements.



**Légende :**

- Distance entre bloc = 1 m ;
- Distance entre parcelle = 0,5 m ;
- Superficie d'une parcelle = 4 m x 4 m (16 m<sup>2</sup>);
- T0 = Enherbé;
- T1 = Maintenu propre;
- T2 = 2 sarclages;
- T3 = pré-émergence (TOPSTAR-400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage;
- T4 = pré-émergence (TOPSTAR- 400 g/l d'Oxadiargyl)+ sarclage + paillage;
- T5 = post-émergence (BARAKA- 360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage;
- T6 = post-émergence (BARAKA- 360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage;
- T7 = Sarclage + paillage + post-émergence (BARAKA- 360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr);
- T8 = Sarclage +post-émergence (BARAKA- 360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr);
- T9 : Paillage + post émergence (BARAKA- 360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr).

**Figure 8 : schéma du dispositif expérimental de l'essai.**

### **5.1.2. Paramètres agro-climatiques**

Les dates de début et de fin de la saison des pluies ont été déterminées en adaptant à l'étude les critères élaborés par Sivakumar (1988) et repris par Chédé (2012). Ainsi, la saison des pluies démarre à partir du premier mars, lorsqu'il est enregistré plus de 20 mm de pluie en un ou deux jours successifs mais sans épisode sec de plus de sept jours dans les 30 jours qui suivent. Elle prend fin à partir du premier novembre, au moment où le riz a épuisé la réserve hydrique du sol. A partir de ces critères et des données recueillies, le logiciel INSTAT+ a été utilisé pour déterminer les différentes dates de début et de fin de la saison des pluies. La longueur de la saison de pluie a été exprimée par la différence entre la date de fin et celle de début. Le bilan hydrique du sol a été également estimé à travers la détermination de la Réserve Facilement Utilisable (RFU) suivant les formules :

$$RFU = RFU_0 + \text{Pluie} + \text{Irrigation} - \text{ETM} \quad (1)$$

$$\text{ETM} = \text{ETP} \times K_c ; \quad (2)$$

Avec RFU<sub>0</sub> = Réserve Facilement Utilisable initiale, fonction de la Réserve Utile (RU) ;

ETM = Evapo-Transpiration Maximale ;

ETP = Evapo-Transpiration Potentielle ;

et K<sub>c</sub> = coefficient cultural de la culture (Chambre d'agriculture Aquitaine, 2014)

### **5.1.3. Paramètres observés, mesurés et calculés sur la population d'adventices**

Les paramètres suivants ont été observés, mesurés ou calculés sur les adventices lors des essais : richesse floristique des adventices, évolution de la flore adventice, note de recouvrement des adventices, densité et biomasse sèche des adventices.

#### **5.1.3.1. Détermination de la richesse floristique de la population d'adventices et son évolution**

La technique du « tour de champ » qui consiste à parcourir les parcelles dans différentes directions jusqu'à ce que la découverte d'une espèce nouvelle nécessite un parcours important (Noba, 2002) a été utilisée pour identifier et faire l'inventaire des adventices du site expérimental. Les adventices observées ont été identifiées sur le site ou au laboratoire à l'aide de manuels de détermination Johnson (1997), Merlier et Montégut (1982), Akobundu et Agyakwa (1989), Adventrop (Le Bourgeois & Merlier., 1995) et/ou à l'aide du logiciel Afroweeds version 1.0 proposé par le CIRAD et Africa Rice.

Au cours des essais, des placettes de 1m<sup>2</sup> disposés dans les parcelles élémentaires ont permis d'inventorier les adventices à 45JAS, 80JAS et à maturité afin de suivre l'évolution de celles-ci au cours du cycle de culture.

#### **5.1.3.2. Détermination de la note de recouvrement, de la densité, de la biomasse sèche des adventices et de l'Efficacité du Contrôle de la population d'adventices (ECA)**

Des observations visuelles du recouvrement du sol ont été effectuées sur les placettes à 45JAS (fin de la phase végétative), 80JAS (fin de la floraison) et à maturité. A chaque observation, une note de propreté allant de 0 à 9 était affectée à l'aire d'observation : la valeur 0 correspond à un champ exempt d'adventices et 9 à un champ totalement enherbé. La note 5 correspond à un enherbement moyen (Mathieu & Marnotte, 2000).

Les adventices des placettes de 1m<sup>2</sup> ont été prélevées puis acheminées au laboratoire. Elles ont été comptées pour déterminer leur densité. Leurs biomasses sèches ont été obtenues après avoir été mises à l'étuve à 65°C pendant 120 heures et ensuite pesées à l'aide d'une balance de précision.

L'efficacité du contrôle de la population d'adventices a été calculée suivant la formule :

$$ECAT_i (\%) = \frac{(BCT_0 - BCT_i)}{BCT_0} \times 100 \quad (3)$$

Avec ECAT<sub>i</sub> = Efficacité du Contrôle des adventices par le traitement T<sub>i</sub> considéré ;  
BCT<sub>0</sub> = Biomasse sèche des adventices obtenue avec le traitement T<sub>0</sub>  
et BCT<sub>i</sub> = Biomasse sèche des adventices obtenue avec le traitement T<sub>i</sub> considéré (Hasanuzzaman *et al.*, 2008).

#### **5.1.4. Paramètres agronomiques observés, mesurés et calculés sur le riz**

Les paramètres agronomiques suivants ont été observés, mesurés ou calculés sur le riz : les stades phénologiques (levée, tallage, épiaison, floraison, maturité), la hauteur, l'Indice de Surface Foliaire (LAI), la biomasse aérienne sèche, le rendement et ses composantes (Nombre de talles/m<sup>2</sup>, Taux de talles fertiles, Nombre de panicules/m<sup>2</sup>, Nombre d'épillets/panicule, Taux de stérilité, Poids de mille grains).

#### **5.1.4.1. Identification des stades phénologiques et détermination de la hauteur du riz**

Des placettes de 1m<sup>2</sup> ont permis d'identifier les stades phénologiques du riz par la durée de la levée de 50% des plants pris au stade de quatre feuilles, par la durée du tallage de 50% des plants à l'initiation paniculaire, par la durée de l'épiaison de 50 % de panicules, par la durée de la floraison de 50% des plants et par la durée de la maturité de 50% des plants (¾ supérieurs de la panicule virent au jaune pâle).

Six (6) poquets, identifiés au préalable, ont permis de déterminer la hauteur du riz à 45 JAS à l'aide d'un mètre-ruban. Six (6) autres poquets ont également permis de déterminer cette hauteur à 80 JAS.

#### **5.1.4.2. Détermination de l'Indice de surface foliaire (LAI), de la biomasse aérienne sèche, des rendements, des composantes du rendement du riz et de la Perte Relative de Rendement (PRR)**

A 45JAS et à 80JAS, sur chaque placette, un poquet présentant un développement moyen a été prélevé. L'ensemble de ses feuilles ont été scannées afin d'obtenir des images foliaires à partir desquelles l'indice de surface foliaire (LAI) a été déterminé grâce au logiciel d'analyse d'image IMAGEJ version 1.45s, 2012.

Six poquets, identifiés au préalable, ont été prélevés et ont permis de déterminer la biomasse aérienne sèche du riz à 45 JAS. Six autres poquets ont également permis de déterminer cette biomasse sèche à 80 JAS. A maturité, six poquets du carré de rendement ont permis de déterminer le rendement en paille. Le rendement grains a été déterminé à partir d'un carré de rendement de 4 m<sup>2</sup> placé au centre de chaque parcelle élémentaire et comportant les 100 poquets centraux.

Les composantes du rendement du riz (Nombre de talles/m<sup>2</sup>, Taux de talles fertiles, Nombre de panicules/m<sup>2</sup>, Nombre d'épillets/panicule, Taux de stérilité, Poids de mille grains) ont été déterminés à partir du carré de rendement de 4 m<sup>2</sup> placé au centre de chaque parcelle élémentaire et comportant les 100 poquets centraux.

La perte relative de rendement due aux adventices a été calculée suivant la formule :

$$PRRT_i (\%) = \frac{(RT_1 - RT_i)}{RT_1} \times 100 \quad (4)$$

Avec PRRT<sub>i</sub> = Perte Relative du Rendement du traitement T<sub>i</sub> considéré;

RT<sub>1</sub> = Rendement du traitement T<sub>1</sub>;

RT<sub>i</sub> = Rendement du Traitement T<sub>i</sub> considéré. (Hasanuzzaman *et al.*, 2008).

### 5.1.5. Évaluation économique des traitements

L'évaluation économique des traitements a été faite à travers la détermination de la Marge Brute (MB) et de la Marge Net (MN) que chaque traitement a permis d'obtenir (Hussain *et al*, 2008; Juraimi *et al.*, 2013; Suria *et al*, 2011). Elles ont été calculées selon les formules suivantes :

$$MB = RP \times PP \quad (5)$$

$$MN = MB - CTD \quad (6)$$

Avec MB = Marge Brut (F CFA/ha);

RP = Rendement paddy (t/ha);

PP = Prix local du paddy (F CFA/t);

MN = Marge Net (F CFA/ha);

CTD = Coût Total du Désherbage (F CFA/ha). (Hasanuzzaman *et al.*, 2008).

La méthodologie de l'expérimentation au champ, exposé plus haut, a permis d'évaluer, dans la zone d'étude, huit méthodes de lutte contre les adventices.

Au regard de la variabilité climatique de la zone d'étude, l'efficacité des méthodes de lutte peut y être compromise par des risques climatiques dont l'occurrence rendraient vulnérable le riz pluvial qui serait moins compétitif vis à vis des adventices. Ce qui entraverait l'efficacité des méthodes de lutte mise en œuvre contre les adventices. Afin de conforter les résultats de l'évaluation au champ, les risques climatiques majeures pour la culture du riz pluvial, dans la zone d'étude, ont été identifiés et les périodes optimales de semis, susceptibles d'atténuer l'impact négatif de ceux-ci, déterminées. La méthodologie déployée pour cette étude est exposée dans la section 5.2.

## **5.2. Méthodologie de l'identification des risques climatiques et de la détermination des périodes optimales de semis.**

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2007), les principaux risques climatiques, découlant de la variabilité climatique, auxquels sont exposés les systèmes de culture pluviale sont la hausse des températures avec des températures maximales élevées, le démarrage tardif de la saison des pluies, les faux départs de la saison des pluies, le raccourcissement de la saison agricole, la progression de la sécheresse, la baisse du cumul pluviométrique et le retard de semis.

L'analyse de ces risques climatiques, dans la zone d'étude, a été faite à travers l'étude de l'évolution d'indices climatiques issus des deux principales variables climatiques que sont les températures et les précipitations et à travers l'analyse des probabilités d'apparition d'événements agro-climatiques dommageables à la culture du riz pluvial.

La hausse des températures a été analysée à travers l'évolution des températures minimales, maximales et moyennes. La baisse du cumul pluviométrique a été analysée à travers l'évolution des cumuls pluviométriques annuels et saisonniers. Le démarrage tardif de la saison des pluies et le retard de semis ont été analysés à travers l'étude de l'évolution des dates de début de la saison des pluies. Le raccourcissement de la saison agricole a été analysé à travers l'étude des longueurs des saisons de pluie et la progression de la sécheresse a été analysée à travers l'étude de l'évolution des séquences sèches et l'étude de l'évolution de l'Indice I de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial. Quant aux événements agro-climatiques (températures élevées, séquences sèches, date de démarrage de saison tardive, fin de saison précoce, saison pluvieuse courte etc.), ils ont été analysés à travers leurs probabilités d'occurrence.

### **5.2.1. Analyse de l'évolution, de la variabilité des indices climatiques et des probabilités d'occurrence des événements agro-climatiques**

L'évolution d'un indice climatique a été déterminée par la représentation graphique de la droite de tendance sur l'histogramme de l'évolution de la variabilité interannuelle de cet indice. La pente de son équation de forme  $Y = aX + b$  indique la tendance. Si  $a > 0$ , la tendance est à la hausse et si  $a < 0$ , la tendance est à la baisse. Le test non paramétrique de Pettitt a été utilisé pour détecter la présence d'éventuelles ruptures dans la série de l'indice et mettre en évidence une modification du comportement moyen de celle-ci (Paturel, Servat, Delattre, & Lubes-Niell, 1998). Lorsque le test de Pettitt a mis en évidence des sous séries, le test paramétrique de comparaison des moyennes de Student a été utilisé pour vérifier si ces sous-séries sont statistiquement différentes.

La variabilité d'un indice climatique est mise en évidence à travers l'analyse des anomalies standards au travers de l'Indice de Lamb (1982). Il permet de déterminer les périodes excédentaires et déficitaires pour cet indice :

$$I = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (7)$$

Où I est l'anomalie standardisée (indice de Lamb),  $X_i$  est la variable étudiée pour le temps (i),  $\bar{X}$  est la moyenne de la période de référence considérée,  $\sigma$  est l'écart-type de la période de référence. Si  $I > 0$ , la période est dite excédentaire et Si  $I < 0$ , la période est dite déficitaire.

L'analyse des probabilités d'occurrence des événements agro-climatiques a été faite à travers l'analyse fréquentielle des événements agro-climatiques pour des niveaux de probabilités 20, 50 et 80%.

### **5.2.2. Détermination des dates de début, de fin et des longueurs de la saison de pluie**

Les dates de début et de fin de la saison des pluies ont été déterminées en adaptant à l'étude les critères élaborés par Sivakumar (1988) et repris par Sarr (2011) et Chédé (2012). Ainsi, la saison des pluies démarre à partir du premier mars, lorsqu'il est enregistré plus de 20 mm de pluie en un ou deux jours successifs mais sans épisode sec de plus de sept jours dans les 30 jours qui suivent. Il est considéré qu'il n'y a pas de pluie lorsqu'il est enregistré une hauteur de pluie inférieure ou égale à 0,85 mm.

Aussi, la saison des pluies prend fin à partir du premier octobre, au moment où la réserve hydrique du sol est nulle. Il est admis que la réserve hydrique est nulle quand elle est inférieure ou égale à 0,05 mm.

La longueur de la saison des pluies est exprimée par la différence entre la date de fin et la date de début de la saison.

### **5.2.3. Détermination des dates de faux départs et risques de faux départs**

La date de faux départ de la saison des pluies est la date à partir de laquelle une séquence sèche supérieure à sept jours est observée après la tombée cumulée d'au moins 20 mm de pluie en un ou deux jours consécutifs après la date du 1<sup>er</sup> mars. Les faux départs sont observés avant la date effective de démarrage de la saison des pluies. La différence exprimée en jours entre ces deux dates constitue un risque potentiel pour la culture. Les niveaux de risque ont été évalués à partir de cette différence sur toute la période d'observation par la formule suivante :

$$Nr = \frac{(DD - DF)}{DD} \times 100 \quad (8)$$

Avec :

Nr = Niveau de risque exprimé en pourcentage (%) ;

DD = Date de démarrage ;

DF = Date de faux départ.

La probabilité d'occurrence des faux départs a été également déterminée.

#### **5.2.4. Détermination des séquences sèches et de l'Indice I de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial**

Les séquences sèches les plus longues ont été calculées. Ces séquences sèches sont des séries de jours consécutifs sans pluie ou avec des pluies de hauteurs inférieures à 0,85mm. Elles ont permis d'évaluer la sécheresse et d'étudier son évolution. Ce sont également des indicateurs d'appréciation de perturbation de la saison des pluies et des calendriers culturels. Il y a sécheresse saisonnière lorsqu'il y a un épisode de séquences sèches de plus de dix jours qui intervient durant les phases critiques du développement de la plante pendant la période végétative et reproductive (Mbaiguedem, 2012).

Frère (1987) a mis au point une méthode d'estimation de l'indice I de satisfaction des besoins en eau des cultures dans les pays où l'eau constitue un facteur limitant de l'agriculture pluviale. L'indice I exprime le degré auquel ont été satisfaits les besoins en eau cumulés de la plante à une phase donnée ou pour la totalité du cycle végétatif. Il permet également de suivre les déficits hydriques tout au long de la période de croissance, en tenant compte des stades phénologiques et des périodes dans lesquelles la disponibilité de l'eau est la plus critique pour le développement de la culture.

Le bilan hydrique est basé sur un principe relativement simple. Au moment du semis (généralement en début de saison des pluies), il est attribué la valeur 100 à I en présumant que la réserve d'eau dans le sol est supérieure aux besoins en eau des plantes.

Les valeurs de I diminuent dès que survient un stress hydrique. En cas de déficit ( $D_i$ ), l'indice est réduit du pourcentage de ce déficit par rapport aux besoins totaux en eau pour la saison (TMR).

$$\text{Si } (E_i/D_i) < 0 \text{ alors } I_i = I_{i-1} - (E_i/D_i \times 100)/\text{TMR}, \quad (9)$$

$$\text{TMR} = K_{C_i} \times \text{ETP}. \quad (10)$$

$$\text{Si } 0 \leq E_i/D_i \leq 100 \text{ alors } I_i = I_{i-1}. \quad (11)$$

Avec  $K_{C_i}$  : coefficient culturel de la plante à un stade phénologique et une décade ou une pentade  $i$  donnés (Dancette, 1983);

ETP<sub>i</sub> : évapotranspiration potentielle de la décade ou de la pentade i ;  
 et E<sub>i</sub> : excédent d'eau dans le sol.

En cas de surplus d'eau dans le sol supérieur à 100 mm, considéré comme excédent d'eau nuisible à la plante, l'indice sera réduit de trois unités.

$$\text{Si } (E_i / D_i) > 100, I_i = I_{i-1} - 3 \quad (12)$$

Selon le niveau de fréquence, nous avons des cas de très bonne ( I=100%), bonne ( 95 ≤ I ≤ 99), moyenne (80 ≤ I ≤ 94), médiocre (60 ≤ I ≤ 79) et mauvaise (50 ≤ I ≤ 59) alimentation hydrique (Sarr *et al.*, 2012).

### 5.2.5. Détermination de la période favorable de semis

Dans le cadre de la détermination de la période favorable de semis, une variété de riz pluvial à cycle moyen (120 jours) et une autre à cycle court (100 jours) ont été considérées. Pour ces variétés, il existe quatre phases majeures de croissance caractérisées chacune par un coefficient cultural K<sub>c</sub> qui détermine les besoins en eau de ladite phase (Tableau 3).

**Tableau 3: phases de croissance, stades agronomiques et coefficient cultural du riz pluvial**

Phase de croissance	Stade agronomique	Coefficient cultural	Durée moyenne (jours)	
			Cycle moyen 120	Cycle court 100
1. Phase initiale	Semis	K <sub>c</sub> = 0,6	15	14
	Germination			
	Levée			
	Reprise			
2. Phase de développement	Tallage	K <sub>c</sub> = 1	40	21
	Initiation paniculaire	K <sub>c</sub> = 1,1	30	30
3. Phase de mi- saison	Montaison			
Epiaison-Floraison				
4. Phase d'arrière-saison	Maturation-Maturité	K <sub>c</sub> = 0,6	35	35

Source : Allen *et al.*, (1998)

Selon Stern *et al.* (2006) la période appropriée de semis est celle durant laquelle la probabilité d'apparition de séquences sèches supérieures à dix jours est faible (≤ 20%). Cette période permet d'assurer la satisfaction hydrique de la levée.

L'analyse de l'évolution des probabilités d'occurrence des séquences sèches supérieures à dix jours pendant les 30 jours qui suivent le semis nous a permis d'estimer la période favorable de semis du riz pluvial.

### 5.2.6. Détermination de la période optimale de semis

A la différence de la période favorable de semis, qui permet d'assurer la satisfaction des besoins hydriques de la levée, la période optimale de semis assure, avec la probabilité maximale, à la fois la satisfaction des exigences hydriques de la levée et de celles du développement et de la croissance de la culture (Lhomme & Monteny, 1981) notamment des phases épiaison-floraison et maturation. Ainsi, la période optimale de semis correspondra à la période qui permet d'assurer, avec la probabilité maximale, la satisfaction des besoins hydriques des phases levée, épiaison-floraison et maturation.

La satisfaction des besoins hydriques de la levée correspond à la probabilité minimale (Probabilité  $\leq 20\%$ ) d'occurrence de séquences sèches supérieures à dix jours pendant les 30 jours qui suivent le semis. La satisfaction des besoins hydriques de la phase épiaison-floraison correspond à la probabilité maximale (Probabilité  $\geq 80\%$ ) d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique durant cette phase. De même, la satisfaction des besoins hydriques de la phase de maturation correspond à la probabilité maximale (Probabilité  $\geq 80\%$ ) d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique durant cette phase. Les bonnes conditions d'alimentation hydrique des phases épiaison-floraison et maturation ont été déterminées à partir de l'indice I de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial défini par Frère (1987) et dont les valeurs ont été supérieures ou égales à 95.

L'analyse de l'évolution, en fonction des dates de semis, de la probabilité d'occurrence des séquences sèches supérieures à dix jours pendant les 30 jours qui suivent le semis, ainsi que celle de l'évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des phases épiaison-floraison et maturation ont permis de déterminer la période optimale de semis du riz pluvial dans la zone d'étude.

La détermination de la période optimale de semis a été fait graphiquement selon deux approches :

- la première, à partir de l'intersection de trois courbes : (i) la courbe d'évolution, en fonction des dates de semis, de la probabilité d'occurrence de séquences sèches de plus de dix jours, 30 jours après le semis du riz pluvial, (ii) la courbe d'évolution, en fonction des dates de semis, de la probabilité d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase épiaison-floraison et, (iii) la courbe d'évolution, en fonction des dates de semis, de la probabilité d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase de maturation;

- la seconde approche, à partir de l'intersection de deux courbes : (i) la courbe d'évolution, en fonction des dates de semis, de la probabilité d'occurrence de séquences sèches de plus de dix jours, 30 jours après le semis du riz pluvial, et (ii) la courbe d'évolution, en fonction des dates de semis, de la probabilité d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) des phases floraison-épiaison et maturation. Il s'agit ici du produit des deux probabilités en considérant que les événements qui sont attachés aux deux phases sont indépendants.

L'expérimentation au champ a permis d'évaluer huit méthodes de lutte intégrée contre les adventices. Par la suite, des analyses agroclimatiques ont permis d'identifier les risques climatiques majeurs encourus par la culture du riz pluvial ainsi que les périodes optimales de semis permettant d'atténuer leurs effets. Pour finir, une expérimentation virtuelle, réalisée à l'aide d'un modèle ad hoc de culture, a été mise en œuvre afin de capturer la variabilité climatique de la zone d'étude. La simulation de ce modèle, a permis d'évaluer, sous une longue série climatique, les huit méthodes de lutte ainsi que l'impact de la variabilité climatique de la zone d'étude sur le développement du riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices. La méthodologie de cette expérimentation virtuelle est présentée dans la section 5.3.

### **5.3. Méthodologie de l'expérimentation virtuelle**

#### **5.3.1. Modèle de base : PYE**

L'approche par modélisation a débuté en utilisant comme modèle de base le modèle PYE (Potential Yield Estimator) écrit en Visual Basic sous Microsoft Access. PYE est un modèle qui évolue à pas de temps journalier et qui simule la croissance et le développement d'une culture, représentée par ses caractéristiques génétiques et évoluant dans un système de culture marqué par un type de sol, des opérations culturales et un environnement climatique (Affholder, 2001; Affholder *et al.*, 2012). PYE considère une densité de peuplement donnée et simule le rendement potentiel  $Y_0$  et le rendement limité en eau  $Y_w$  tel que défini par van Ittersum & Rabbinge (1997). Le rendement potentiel  $Y_0$  ne dépend que de la température et du rayonnement solaire. La plante ne subit aucun stress (ni hydrique, ni azoté, etc.) tandis que le rendement  $Y_w$  est limité par l'eau car la plante peut subir un stress hydrique. Il tient compte, en culture pluviale, de l'impact des précipitations sur la croissance de la culture. Les modules de développement et de croissance de PYE sont basés sur le modèle STICS, Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard, (Brisson *et al.*, 2006).

Le schéma du modèle conceptuel de PYE est donné par la figure 9.

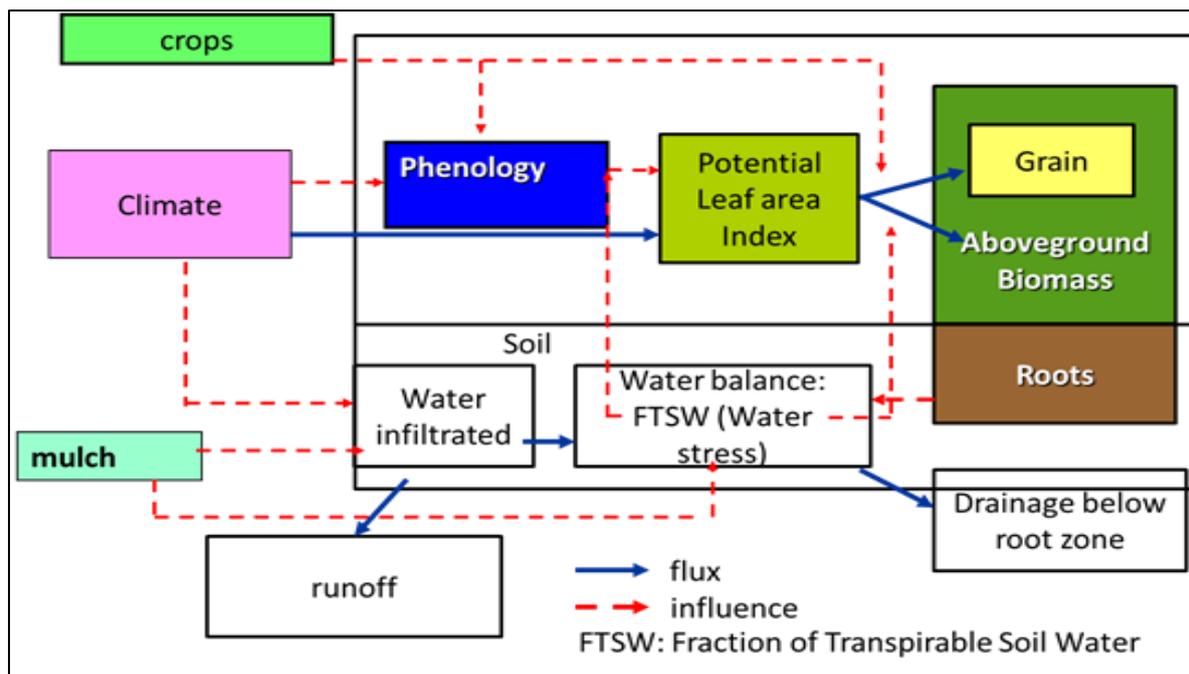


Figure 9 : schéma conceptuel de PYE ( Traoré, 2015).

### 5.3.1.1. Phénologie de la plante dans le modèle PYE

Le modèle simule le développement de la plante en considérant qu'un stade  $i$  est atteint au jour  $n$  quand :

$$TT(i) = \sum_{j=k+1}^n (f(T_m)) \quad (13)$$

avec

TT : Constante de temps thermique du stade  $i$ , en  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{j}^{-1}$

$T_m$  : Température moyenne de l'air du jour en  $^{\circ}\text{C}$

$k$  : Jour où le stade  $i-1$  a été atteint

$f$  : Une fonction de la température définie comme suit :

$$TT = T_m - t_{\text{dmin}} \quad (14)$$

$$\text{Si } T_m < t_{\text{dmin}} \text{ Alors } TT = 0 \quad (15)$$

$$\text{Si } T_m > t_{\text{dmax}} \text{ Alors } TT = t_{\text{dmax}} - t_{\text{dmin}} \quad (16)$$

Avec :

$t_{\text{dmin}}$  : Température-base en dessous de laquelle le développement de la plante est nul.

$t_{\text{dmax}}$  : Température seuil au-delà de laquelle la vitesse de développement n'augmente plus.

Dans le modèle, cinq stades correspondent à des périodes de croissance de la culture du riz et chacun correspond à un changement dans la physiologie de la plante (Figure 10). Ce sont : (1)

levée-montaison (Juv); (2) tallage max-épiaison (Tall); (3) épiaison-floraison plein (Flo) ; (4) floraison plein-sénescence (Grain) ; (5) sénescence-maturité (Matu).

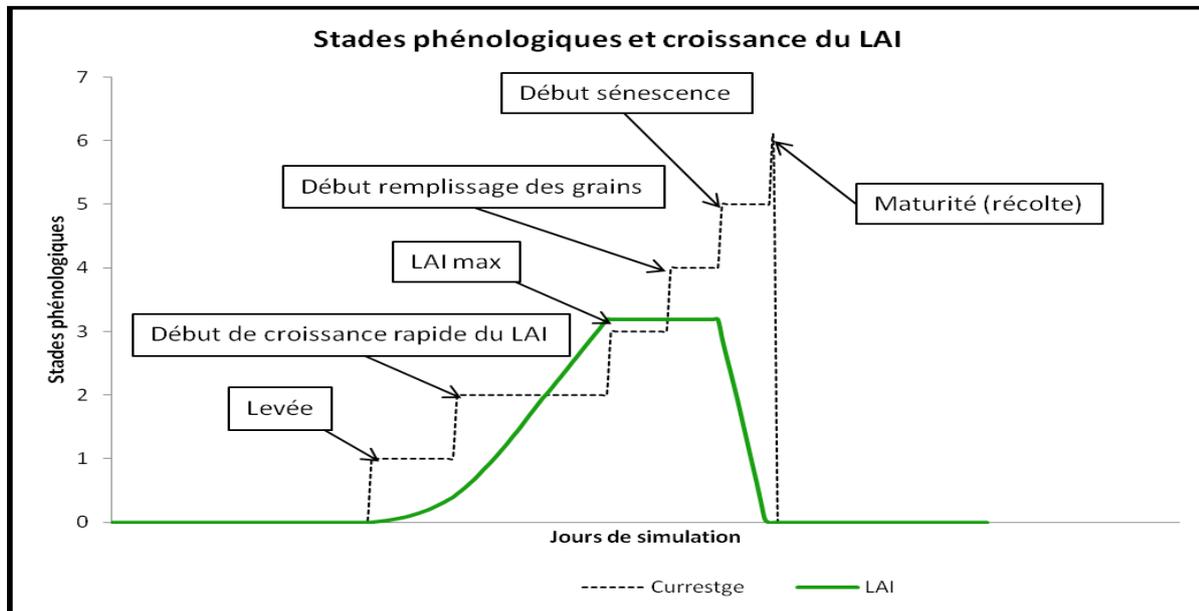


Figure 10 : stades phénologiques et croissance de l'indice de surface foliaire (Garcia, 2015)

### 5.3.1.2. Indice de surface foliaire dans le modèle PYE

L'indice de surface foliaire (LAI) est une variable clé du modèle. Chaque jour, un delta LAI est calculé en fonction du stade phénologique de la plante et de la densité de la culture. Cependant, il peut être affecté par un stress hydrique dans les deux premiers stades de développement (JUV et TALL) si les conditions de culture sont limitantes pour ce facteur.

L'équation qui permet la construction du delta LAI journalier est donnée ci-dessous :

$$dLAI = DLAI_{max} / (1 + \text{Exp}(5.5 * (V_{lmax} - U_{lai}))) * Hu \tag{17}$$

$$dLAI = dLAI * \text{deltaidens} * \text{denspl} * \text{Turfac} \tag{18}$$

$$\text{deltaidens} = (\text{Dens} / \text{Bdens})^{\text{adens}} \tag{19}$$

Hu une fonction de :

$$TT = T_m - t_{dmin} \text{ Si } T_m < t_{dmin} \text{ Alors } TT = 0 \tag{20}$$

$$\text{Si } T_m > t_{dmax} \text{ Alors } TT = t_{dmax} - t_{dmin} \tag{21}$$

Où :

dLAI : augmentation quotidienne du LAI ( $m^2.m^{-2}.jour^{-1}$ )

DLAI<sub>max</sub> : Croit journalier maximal du LAI ( $m^2.m^{-2}.jour^{-1}$ )

Vlaimax : ULAI au point d'inflexion de la fonction DLAI = f (ULAI) Ulaï : Unité de développement foliaire

Hu : temps thermique en °C fonction de la température moyenne quotidienne de la journée en °C (moyenne de T min et T max),

Tdmin : température minimale pour la croissance (°C)

Tdmax : température maximale pour la croissance (°C)

Densplt : la densité de plantes (plantes.m<sup>-2</sup>)

deltaidens : effet de la densité de peuplement sur le LAI

adens : Capacité de la plante à supporter des densités croissantes

bdens : densité en dessous de laquelle il n'y a pas de compétition entre les plantes

Le calage de l'indice de surface foliaire dans le modèle passe par celui des paramètres DLaiMax, Adens, Bdens.

### 5.3.1.3. Biomasse du riz dans le modèle PYE

En se basant sur l'approche de Monteith (1977) le modèle lie la production de la matière sèche à l'interception du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) et la capacité de la plante à intercepter ce rayonnement (efficacité d'interception).

Le rayonnement solaire intercepté par les feuilles est calculé selon la loi d'extinction de Beer-Lamber:

$$\text{raint} = 0.95 * \text{ParSurRg} * \text{Rg} * (1 - \text{Exp}(-\text{CoefExtin} * \text{Lai})) \quad (22)$$

Où :

raint : Rayonnement solaire intercepté par la culture en MJ.m<sup>-2</sup>,

Rg est le rayonnement global journalier en MJ.m<sup>-2</sup>,

ParSurRg : Fraction Photosynthétiquement Active du Rayonnement (PAR/Rg).

CoefExtin : coefficient d'extinction du rayonnement par le LAI

Le rayonnement intercepté par les feuilles est converti en biomasse dont la quantité produite est fonction de la capacité de la plante à opérer cette conversion (Ebmax : efficacité biologique maximale) qui dépend de l'espèce et de la présence ou non de stress hydrique ou azoté.

$$\text{dBiom} = \text{Ebmax} * \text{Raint} / 100 \quad (23)$$

Où :

$\delta\text{Biom}$  : la biomasse total quotidienne en  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

$E_{\text{bmax}}$  : coefficient de conversion maximal du rayonnement en biomasse

Le calage de la biomasse a donc été portée sur les paramètres  $\text{CoefExtin}$  et  $e_{\text{bmax}}$  en les ajustant par essais-erreur pour faire approcher le plus possible les valeurs simulées de la biomasse aux valeurs observées.

#### 5.3.1.4. Rendement dans le modèle PYE

Le calcul du rendement est effectué en suivant l'approche utilisé dans le modèle STICS (Brisson *et al.*, 2003). Le rendement de la culture désigné dans le modèle comme grains est fonction du nombre de grains récoltés qui est déterminé durant un nombre fixe de jours ( $\text{NBJGRAIN}$ ) précédant le début du remplissage des grains et le poids d'un grain. Le nombre de grains étant une fonction linéaire de la vitesse moyenne de croissance de la biomasse pendant cette période. Le nombre de grains étant limité par le paramètre  $\text{NBGRMAX}$ .

$$\text{ng} = \text{JourDrp} - \text{Nbjgrain} + 1 \quad (24)$$

$$\text{Vit moy} = \text{Vit moy} + \delta\text{Biom} \quad (25)$$

$$\text{Vit moy} = 100 * \text{Vit moy} / \text{Nbjgrain} \quad (26)$$

$$\text{Ngrains} = \text{Int}(\text{Cgrain} * \text{Vit moy} + \text{Cgrainv0}) \quad (27)$$

$$\text{Si } (\text{Ngrains} / \text{denspl}) > \text{Ngrmax} \text{ Alors } \text{Ngrains} = \text{Ngrmax} * \text{denspl} \quad (28)$$

Où:

$\text{Vit moy}$  : vitesse moyenne de croissance pendant la phase de détermination du nombre de grains (en  $\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{j}^{-1}$ )

$\delta\text{Biom}$ : la production journalière de biomasse ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )

$\text{Nbjgrain}$  : nombre de jours déterminant le nombre de grains avant le stade 4 (début remplissage du grain)

$\text{Cgrain}$  : nombre de grains mis en place par  $\text{gMS}/\text{jour}$  de croissance moyenne de biomasse pendant les  $\text{nbjgrain}$  précédent le début du stade 4

Cgrainv0 : nombre de grains mis en place si croissance nulle pendant les nbjgrain (grains /m<sup>2</sup>)

Ngrmax : Nombre de grains maximum

La part de la biomasse totale accumulée qui est allouée aux grains est calculée à l'aide d'un indice de récolte (Vitircarb) qui augmente avec le temps à partir de la date de début de remplissage du grain (JourDrp) et jusqu'à la maturité physiologique.

$$IR = \text{Vitircarb} * (\text{joursim} - \text{JourDrp} + 1) \quad (29)$$

$$IR = \text{Min}(IR, IR_{\text{max}}) \quad (30)$$

$$\text{Grain} = \text{Min}(\text{Biom} * IR, P1\text{grainMax} * \text{Ngrains} / 100) \quad (31)$$

$$P1\text{grain} = 100 * \text{Grain} / \text{Ngrains} \quad (32)$$

Le calage du rendement est porté sur Nbjgrain, Cgrain, Ngrmax et P1grainMax, vitircarb.

#### 5.3.1.5. Bilan hydrique dans le modèle PYE

Le calcul du bilan hydrique a été emprunté au modèle Sarra-Millet (Affholder, 1995), modifié pour tenir compte de l'effet du paillis sur l'évaporation en introduisant les relations proposées par Scopel *et al.*, (1998). Les paramètres de calage de ce modèle sont des paramètres empiriques de vitesse de décomposition du paillis, de son pouvoir couvrant, de sa capacité de stockage de l'eau, ainsi que les paramètres de seuil de teneur en eau du sol à partir desquels la transpiration et l'évaporation sont réduites. Les paramètres relatifs au paillis ont été fixés aux valeurs proposées par Scopel *et al.* (1998) pour des paillis de maïs. Les paramètres relatifs aux seuils de réduction de l'évaporation et de la transpiration sont équivalents à ceux du modèle CropWat de la FAO, et ont été fixés aux valeurs fournies dans le « Bulletin FAO n°56 » (Allen *et al.*, 1998). Cependant, la dynamique de l'eau dans le sol peut être modifiée par l'apport de paillis sur la parcelle par son action sur le ruissellement, l'infiltration, sa capacité à retenir et à évaporer une partie de l'eau.

#### 5.3.1.6. Modélisation du paillis dans le modèle PYE

La quantité de paillis présente sur le sol augmente avec les apports, mais se décompose au fil du temps.

$$Q_{\text{paillis}} = Q_{\text{paillis}} * \text{Exp}(-\text{Alpha}_{\text{pail}}) \quad (33)$$

$$\text{Si jourpaillage Alors } Q_{\text{paillis}} = Q_{\text{paillis}} + Q_{\text{paillisApport}} \quad (34)$$

$$\text{FracSoilCover} = 1 - \text{Exp}(-\text{Beta\_pail} * \text{Qpaillis}) \quad (35)$$

Où :

Qpaillis : quantité de paillis présente au sol chaque jour (Mg/ha)

Alpha\_pail :  $\text{exp}(-\text{Alph\_pail})$  est le taux de disparition quotidienne du paillis

FracSoilCover : fraction du sol couverte par le paillis (sd)

Beta\_pail : pouvoir couvrant du paillis (ha/T DM)

QpaillisApport : Quantité paillis apporté

Le bilan hydrique du mulch se calcule en deux temps. Le modèle calcule d'abord une première évaporation due à la disparition d'une quantité de paillis et donc de l'eau qu'elle contenait, puis une deuxième évaporation calculée comme le complément de la première à l'évaporation potentielle (eopaillis) en respectant la contrainte de stock d'eau contenu dans le paillis restant.

$$\text{Eomulch} = \text{EoSM} * (1 - \text{Exp}(-\text{gamma\_mulch} * \text{Qpaillis})) \quad (36)$$

$$\text{Smulch} = \text{Smulch} * \text{Qpaillis} / \text{Qpaillis} \quad (37)$$

$$\text{epail1} = \text{Smulch} * ((\text{Qpaillis}(\text{joursim} - 1) - \text{Qpaillis}(\text{joursim})) / \text{Qpaillis}(\text{joursim})) \quad (38)$$

$$\text{epail2} = \text{Eomulch} - \text{epail1} \quad (39)$$

$$\text{Si } \text{epail2} > \text{Smulch} \text{ Alors } \text{epail2} = \text{Smulch} \quad (40)$$

$$\text{Emulch} = \text{epail1} + \text{epail2} \quad (41)$$

Où :

Eomulch : évaporation potentielle du mulch (mm)

EoSM : évaporation potentielle au sommet du mulch (mm) Smulch : stock en eau du mulch (mm)

Emulch : évaporation du mulch (mm)

epail1 : premier terme de l'évaporation du paillis (mm) epail2 : deuxième terme de l'évaporation du paillis (mm)

L'interception de l'eau se fait à travers la variable FracSoilCover qui retient une partie de la précipitation et qui laisse passer le surplus de l'eau qui s'infiltré vers le bas.

$$\text{intercep} = \text{precip} * \text{FracSoilCover} \quad (42)$$

$$\text{Smulch} = \text{Smulch} - \text{epail2} + \text{intercept} \quad (43)$$

Si  $\text{Smulch} > \text{CapaciteWMulch} * \text{Qpaillis}$  Alors

$$\text{EauVersSol} = \text{precip} - \text{intercep} + \text{Smulch} - \text{CapaciteWMulch} * \text{Qpaillis} \quad (44)$$

$$\text{Smulch} = \text{CapaciteWMulch} * \text{Qpaillis} \quad (45)$$

Sinon

$$\text{EauVersSol} = \text{precip} - \text{intercep} \quad (46)$$

Où :

Intercept: eau interceptée par le paillis (mm)

Precip: précipitation (mm)

EauVersSol : quantité d'eau disponible sous le mulch pour infiltration dans le sol (mm)

CapaciteWMulch : capacité de stockage de l'eau par le mulch en  $\text{mm.T}^{-1}.\text{ha}^{-1}$  de mulch

Le ruissellement est considéré comme négligeable dans cette étude et n'est pas modélisé.

### 5.3.2. Modèle PYE-IWM

Le nouveau modèle PYE-IWM diffère du modèle de base PYE par l'introduction de modules permettant de prendre en compte la levée, la croissance aérienne d'une population d'adventices ainsi que l'effet des opérations de lutte contre celle-ci.

L'approche utilisée ici est empruntée à celle d'Affholder (2001) qui a permis de prendre en compte de manière relativement simple et satisfaisante ces éléments dans le modèle STICS.

Les nouveaux modules qui ont été ajoutés au modèle de base PYE permettent de simuler d'une part la croissance d'une population d'adventices et ses principales interactions avec la culture du riz et d'autre part l'effet des opérations de lutte contre cette population d'adventices.

#### 5.3.2.1. Modélisation de la levée et de la croissance aérienne des adventices

A l'image de la levée du riz, la levée de la population d'adventices n'est pas simulée par le modèle. La date de levée de la population d'adventices est une donnée d'entrée du modèle au même titre que celle du riz pluvial.

La croissance de la population d'adventices en indice de surface foliaire ( $L_{aiadv}$ ) et en biomasse ( $M_{sadv}$ ) est calculée par les équations suivantes pour un jour  $j$ :

$$dL_{aiadv}(j) = -0.029 L_{aiadv}(j-1) + 0,0338 \quad (47)$$

$$\text{Laiadv}(j)=\text{laiadv}(j-1)+\text{dlaiadv}(j)*\exp(-0.7*\text{LAI})*\text{Turfac} \quad (48)$$

$$\text{Msadv}(j)=\text{Msadv}(j-1)+\text{dmsadv}*(1-\exp(-0.7*\text{laiadv}(j)))*\exp(-0.7*\text{LAI})*\text{Turfac} \quad (49)$$

où

$\text{dlaiadv}(j)$ , le croît journalier potentiel de l'indice de surface foliaire des adventices évolue en fonction du LAI atteint par les adventices le jour précédent de manière à produire une évolution asymptotique de  $\text{Laiadv}$  en fonction du temps.

$\text{dmsadv}$ , croît journalier potentiel de biomasse des adventices, est considéré comme constant sur l'ensemble de la simulation.

Le terme  $\exp(-0.7*\text{LAI})*\text{Turfac}$  est la contrainte limitant la croissance des adventices. Elle intègre l'effet de l'interception par le riz d'une partie du rayonnement disponible ainsi que le stress hydrique. Le stress azoté n'est pas pris en compte.

Le terme  $(1-\exp(-0.7*\text{laiadv}(j)))$  exprime la dépendance de la croissance de la biomasse à l'interception du rayonnement par le feuillage des adventices, en considérant un coefficient d'interception du rayonnement par les adventices égal à 0,7.

où LAI est l'indice de surface foliaire du riz,  $\text{Turfac}$  le stress hydrique subi par l'association riz-adventices.

### **5.3.2.2. Modélisation des effets des opérations de lutte contre la population d'adventices**

Les effets des opérations de lutte contre la population d'adventices (herbicide de pré-émergence, sarclage, herbicide de post-émergence, paillage) ont été appréhendés à travers deux paramètres majeurs : le coefficient d'effet de l'opération sur la population d'adventices et la durée d'action de cet effet. Ainsi, le coefficient  $\beta$  d'effet herbicide de pré-émergence et la durée  $t_\beta$  d'action de cet effet traduiront l'effet de l'herbicide de pré-émergence sur la population des adventices. Le coefficient  $\alpha$  d'effet sarclage et la durée d'action  $t_\alpha$  de cet effet traduiront l'effet du sarclage sur la population des adventices. Le coefficient  $\mu$  d'effet herbicide de post-émergence et la durée  $t_\mu$  d'action de cet effet traduiront l'effet de l'herbicide de post-émergence sur la population des adventices et enfin, le coefficient  $\pi$  d'effet paillage et la durée  $t_\pi$  d'action de cet effet traduiront l'effet du paillage sur la population des adventices.

Les coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  et  $\pi$  s'appliqueront sous forme de facteurs multiplicateurs aux formalismes de  $\text{Laiadv}$  et de  $\text{Msadv}$  suivant les conditions décrites dans le tableau ci-après:

**Tableau 4 : paramètres des opérations de lutte contre la population d'adventices**

Paramètre	Description	Unité	Critères d'application	Valeur
$\alpha$	coefficient de l'effet sarclage	Sans unité	sur la durée d'action du sarclage	$0 \leq \alpha < 1$ . A déterminer par calage
			après la durée d'action du sarclage	1
$t_\alpha$	durée d'action de l'effet sarclage	jour	sur la durée d'action du sarclage	A déterminer par calage
$\beta$	Coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence	Sans unité	$Laiadv < 0,85$	$0 \leq \beta < 1$ . A déterminer par calage
			$Laiadv \geq 0,85$	1
			après la durée d'action de l'herbicide de post-émergence	1
$t_\beta$	Durée d'action de l'effet herbicide de pré-émergence	jour	sur la durée d'action de l'effet herbicide de pré-émergence	A déterminer par calage
$\mu$	coefficient de l'effet herbicide de post-émergence	Sans unité	sur la durée d'action de l'herbicide de post-émergence	$0 \leq \mu < 1$ . A déterminer par calage
			après la durée d'action de l'herbicide de post-émergence	1
$t_\mu$	Durée d'action de l'effet herbicide de post-émergence	jour	sur la durée d'action de l'effet herbicide de post-émergence	A déterminer par calage
$\pi$	coefficient de l'effet paillage	Sans unité	Sur la durée d'action du paillage sur la population d'adventices	$0 \leq \pi < 1$ . A déterminer par calage
			après la durée d'action $t_\pi$ du paillage sur la population d'adventices	1
$t_\pi$	Durée d'action de l'effet paillage	jour	Sur la durée d'action du paillage sur la population d'adventices	A déterminer par calage

Les coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  et  $\pi$  varient entre 1 (pas d'effet de l'opération sur la croissance des adventices) et 0 (destruction totale de la croissance des adventices par l'opération) et dépendent de plusieurs facteurs dont la maîtrise technique de l'opération par l'exploitant et les conditions climatiques.

### 5.3.2.3. Influence de la population d'adventices sur la croissance du riz

La modélisation de l'influence des adventices sur la croissance du riz, à travers la compétition pour la lumière et l'eau a été réalisée à travers des modifications de modules préexistants dans le modèle de base PYE. Les modules concernés sont ceux impliqués dans le calcul de l'Indice de surface foliaire et de la contrainte hydrique.

L'effet de la réduction par les adventices du rayonnement disponible pour le riz n'est simulé que lorsque la somme des indices foliaires des membres de l'association riz-adventices excède 1. Au-delà de ce seuil, la croissance foliaire du riz est réduite par le facteur multiplicateur  $\exp(-0.7 \cdot \text{laiadv})$ .

L'adaptation du module de bilan hydrique, pour prendre en compte la compétition pour l'eau, a consisté à substituer le riz par une association adventices-riz dont l'indice de surface foliaire est égal à la somme des indices foliaires des deux composantes. La transpiration et l'évaporation potentielles, dépendantes du LAI, sont ainsi celles de l'association et non plus celles du riz seul. Le système racinaire est commun et obéit au même paramétrage que celui qui était considéré pour le riz seul, mais sa croissance commence dès que la levée de l'une des composantes de l'association est réalisée. Le calcul du stress hydrique n'est pas modifié directement, mais uniquement à travers l'altération de la dynamique du stock hydrique du sol qui résulte de la modification de la transpiration potentielle. L'effet du stress hydrique sur les adventices est simulé de la même manière que pour le riz, à la simplification près qu'un seul facteur de stress est considéré pour ralentir la croissance de  $\text{laiadv}$  comme de  $\text{msadv}$ , le facteur SWFAC. Ce facteur est le même que celui qui s'applique au LAI du riz, un autre facteur, TURFAC, s'appliquant à la biomasse du riz.

SWFAC et TURFAC sont tous deux déduits de la teneur en eau moyenne du sol, mais différent par le seuil de teneur en eau à partir duquel une contrainte hydrique apparaît.

### **5.3.3. Essais utilisés pour le paramétrage des modèles PYE et PYE-IWM**

Les résultats de trois essais de lutte intégrée contre les adventices ont été utilisés pour le paramétrage des modèles PYE et PYE-IWM. Il s'agit de deux essais semés respectivement le 05 septembre 2016 et le 13 septembre 2017 en conditions moins arrosées et d'un troisième essai semé le 22 mars 2017 en condition de bonne alimentation hydrique. Les précédents culturaux étaient des jachères de moins d'un an. Les travaux de préparation de terrain ont consisté en un labour effectué à l'aide d'un tracteur à disques suivi d'un travail du sol à la houe pour préparer le lit de semis. Les essais ont été mis en place selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec trois répétitions pour tenir compte de la pente observée sur le site expérimental. Chaque parcelle élémentaire était constituée de 20 lignes de 4 m de long et de dimension 4 x 4 m, soit une superficie de 16 m<sup>2</sup>. Chaque unité expérimentale de 16 m<sup>2</sup> comportait 400 poquets soit 25 poquets par m<sup>2</sup>. Le riz a été semé en poquet à raison de 6 graines en moyenne par poquet à 1 à 2 cm de profondeur et la géométrie de semis adoptée était de 0,20 m entre les lignes et 0,20 m entre les poquets d'une même ligne, soit une densité de 250 000 poquets à l'hectare. Les plants

ont été démarriés à trois pieds par poquet, en condition humide, avant le tallage. Les fertilisations chimiques ont été effectuées conformément aux recommandations de la recherche agronomique. Il s'agissait d'un épandage d'engrais N-P-K à 10-18-18 incorporée au semis à la dose de 300 kg/ha et d'une application d'urée au 30<sup>e</sup> JAS à la dose de 75 kg/ha. Des traitements contre les insectes et nématodes ont été effectués et une barrière de protection a été installée pour éviter l'intrusion des ravageurs et autres animaux. Les traitements suivants ont été évalués au cours des essais : T0 (témoin négatif), Parcelle enherbée du semis à la récolte ; T1 (témoin positif), Parcelle maintenue propre du semis à la récolte ; T2, 2 sarclages (pratique paysanne) : 14JAS+21JAS ; T3, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS ; T4, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage + paillage ( 3T/ha de paille de riz) : 1JAS+21 JAS +21 JAS ; T5, Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage : 14JAS+ 30JAS ; T6, Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage + paillage (3T/ha de paille de riz) : 14JAS+ 30JAS+30JAS ; T7, sarclage + paillage (3T/ha de paille de riz) + Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) : 14JAS+14JAS+30JAS ; T8, Sarclage + Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha): 14JAS+30JAS ; T9, Paillage + Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) : -1JAS+14JAS. Les traitements T8 et T9, absents au cours de l'essai de 2016, ont été rajoutés aux essais effectués en 2017.

#### 5.3.4. Performance des modèles PYE et PYE-IWM

La performance des modèles, c'est à dire leur capacité à bien simuler une variable observée, a été évaluée à l'aide de représentations graphiques et de deux paramètres statistiques que sont l'erreur quadratique moyenne relative (RRMSE) et l'indice d'agrément (IA) (Willmott, 1982). Ces paramètres ont été calculés à l'aide des formules suivantes :

$$\text{RRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}}{\bar{X}} \quad (50)$$

$$\text{IA} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{X}| + |x_i - \bar{X}|)^2} \quad (51)$$

Un modèle est d'autant plus performant que la valeur du RRMSE est faible et que celle de l'IA est proche de 1. Plus spécifiquement, le modèle PYE est considéré comme bien paramétré pour des valeurs de RRMSE inférieures à 33% (Affholder *et al.*, 2003; Bertrand, 2011; Luu, 2012).

### **5.3.5. Mise en place des expérimentations virtuelles**

Une fois les modèles PYE et PYE-IWM paramétrés dans les conditions d'étude, ils ont été utilisés pour réaliser des expérimentations virtuelles. C'est à dire pour simuler la riziculture pluviale sous une série climatique historique de dix années (2008-2017). Les années étant considérées comme des répétitions. La première expérimentation virtuelle a permis d'étudier les effets des méthodes de lutte intégrée sur les rendements du riz pluvial. Elle visait à évaluer les huit méthodes de lutte contre les adventices sous une longue série climatique. La seconde expérimentation virtuelle visait à évaluer, à travers l'impact des variabilités du stress hydrique et du cumul pluviométrique du cycle de culture, celui de la variabilité climatique de la zone d'étude sur le rendement du riz pluvial. La dernière expérimentation virtuelle visait également à évaluer, à travers l'impact de la variabilité du cumul pluviométrique du cycle de culture, celle de la variabilité climatique de la zone d'étude sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices.

Les matériels et méthodes exposés précédemment ont permis d'obtenir les résultats issus de l'expérimentation au champ, de l'identification des risques climatiques, de la détermination des périodes optimales de semis et de l'expérimentation virtuelle. L'ensemble des résultats obtenus sont exposés et discutés dans la troisième partie.

## **TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## **CHAPITRE 6 : RESULTATS ET DISCUSSIONS DE L'EXPERIMENTATION AU CHAMP**

### **6.1 Résultats de l'expérimentation au champ**

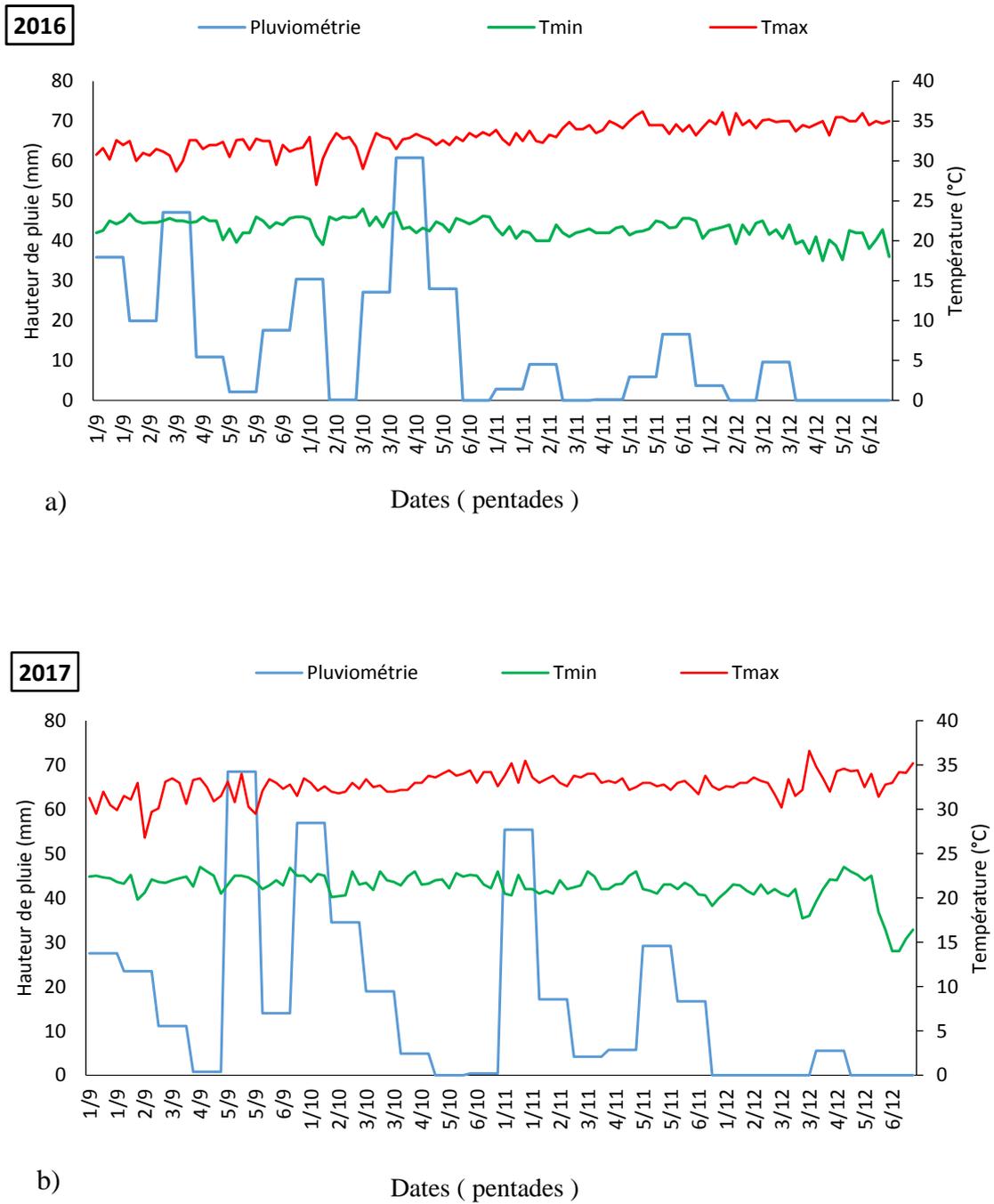
L'expérimentation au champ a permis d'évaluer huit méthodes de lutte contre les adventices. Les résultats ont porté sur les conditions hydriques et de températures qui ont prévalu pendant la réalisation des essais en 2016 et en 2017 et sur les effets des méthodes de lutte sur les adventices et sur le riz pluvial.

#### **6.1.1. Conditions hydriques et de températures enregistrées au cours des essais**

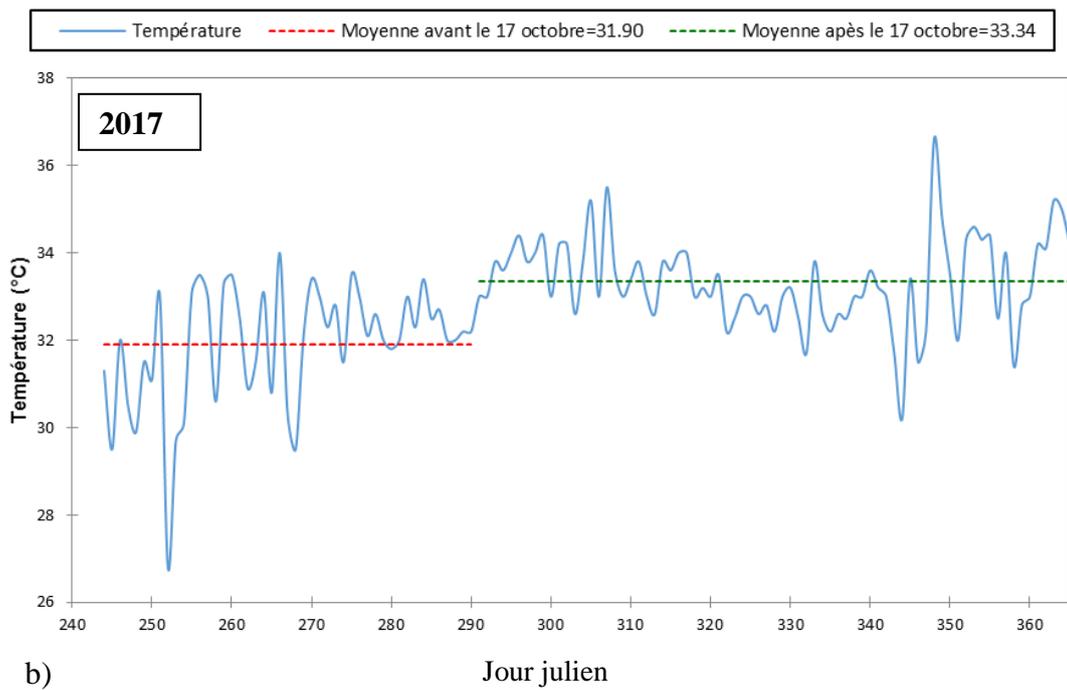
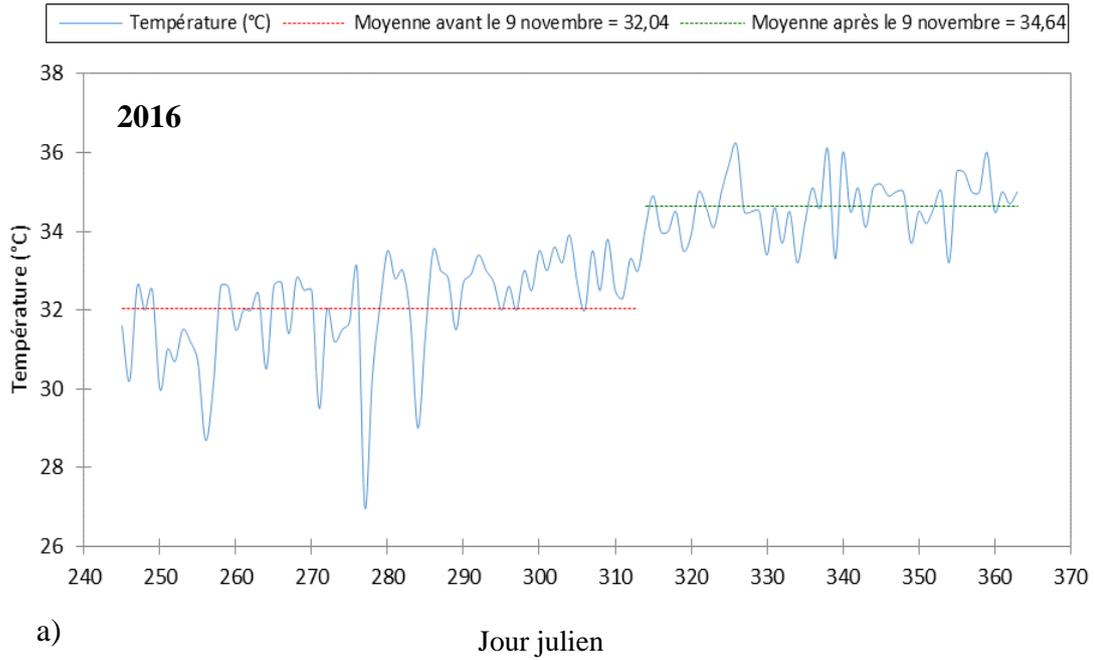
Au cours de l'essai de 2016, la température maximale a varié entre 27°C et 36,2°C du semis jusqu'à la maturité avec une moyenne de 33,12°C (Figure 11a). Le test de Pettitt a détecté une rupture à la date du 09 novembre 2016 dans la série journalière des températures maximales (Figure 12a). Du semis le 05 septembre 2016 au 09 novembre 2016 (l'essai était alors à 65 JAS), la température maximale a varié de 27°C à 33,9°C avec une moyenne de 32,04°C et du 10 novembre 2016 au 28 décembre 2016 (à la maturité) la température a varié de 33,2°C à 36,2°C avec une moyenne de 34,64°C. Quant à la température minimale, durant l'essai de 2016, elle a varié de 17,5 °C à 24°C avec une moyenne de 21,55 °C (Figure 11a). Une rupture a été aussi détectée par le test de Pettitt dans la série journalière des températures minimales (Figure 13a). Du semis le 05 septembre 2016 au 30 octobre 2016 (l'essai était alors à 55 JAS), la température minimale a varié de 19,5°C à 24°C avec une moyenne de 22,22°C et du 31 octobre 2016 au 28 décembre 2016 (à la maturité), la température minimale a varié de 17,5°C à 22,8°C avec une moyenne de 20,9°C

Au cours de l'essai de 2017, la température maximale a varié entre 26,6°C et 36,6 °C du semis à la maturité avec une moyenne de 32,79°C (Figure 11b). Le test de Pettitt a révélé une rupture à la date du 17 octobre 2017 dans la série journalière des températures maximales (Figure 12b). Du semis le 13 septembre 2017 au 17 octobre 2017 (l'essai était à 34 JAS), la température maximale a oscillé entre 26,8 °C et 34°C avec une moyenne de 31,90 °C. Du 18 octobre 2017 à la maturité, la température a varié de 30,20°C à 36,6°C avec une moyenne de 33,34°C. Concernant la température minimale en 2017, elle a varié de 14°C à 23,5°C durant l'essai avec une moyenne de 21,23°C (Figure 11b). Le test de Pettitt a détecté une rupture à la date du 30 octobre 2017 dans la série journalière des températures minimales (Figure 13b). Du semis le 13 septembre 2017 au 30 octobre 2017 (l'essai était à 47JAS), la température minimale a oscillé

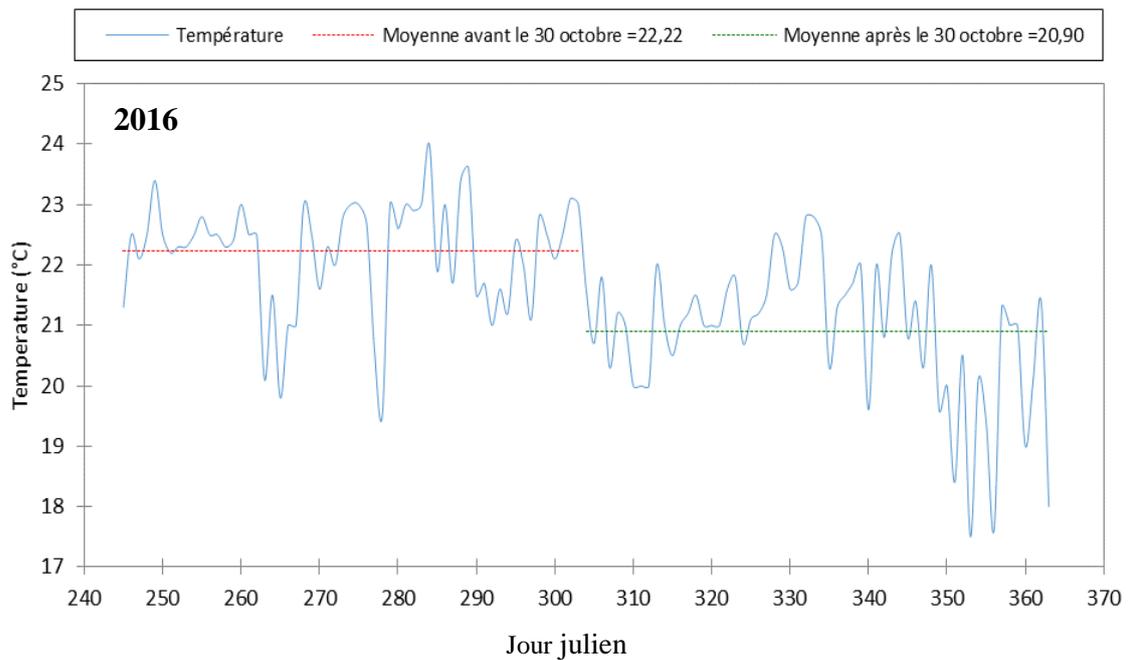
entre 19,8°C et 23,5°C avec une moyenne de 21,93°C et du 31 octobre 2017 à la maturité, la température minimale a varié de 14°C à 23,5°C avec une moyenne de 20,55°C.



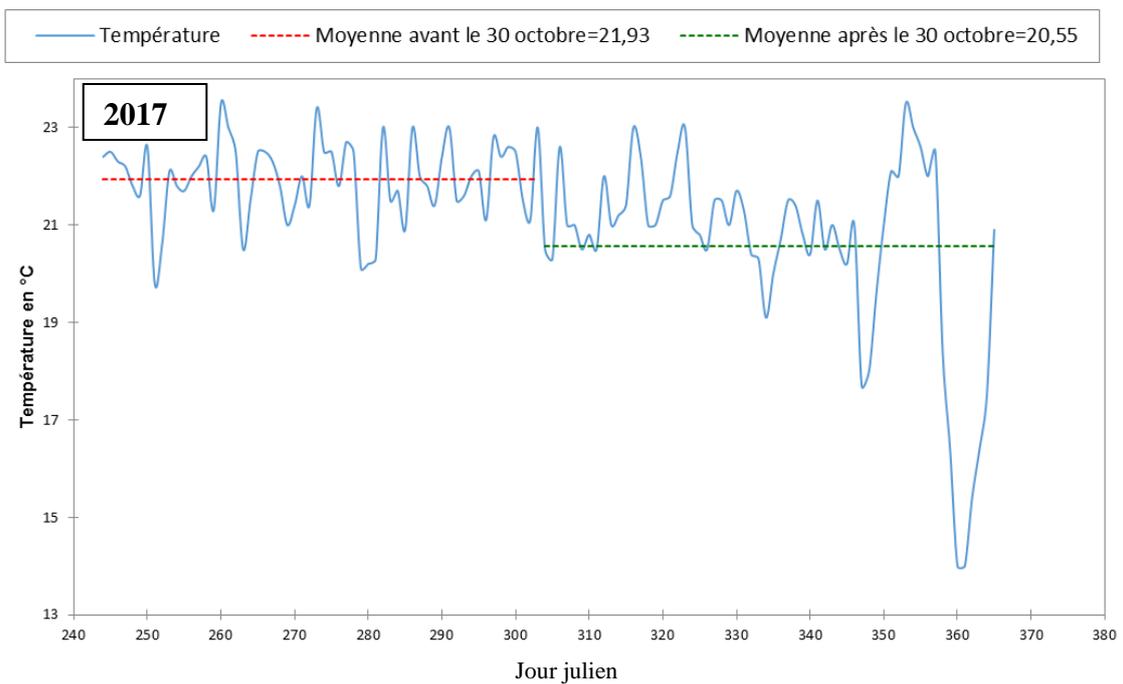
**Figure 11 : températures maximales et minimales journalières et pluviométrie pentadaire enregistrées au cours des essais de 2016 (a) et de 2017 (b).**



**Figure 12 : variations des températures maximales journalières au cours des essais de 2016 (a) et de 2017 (b)-test de rupture de Pétitt**



a)



b)

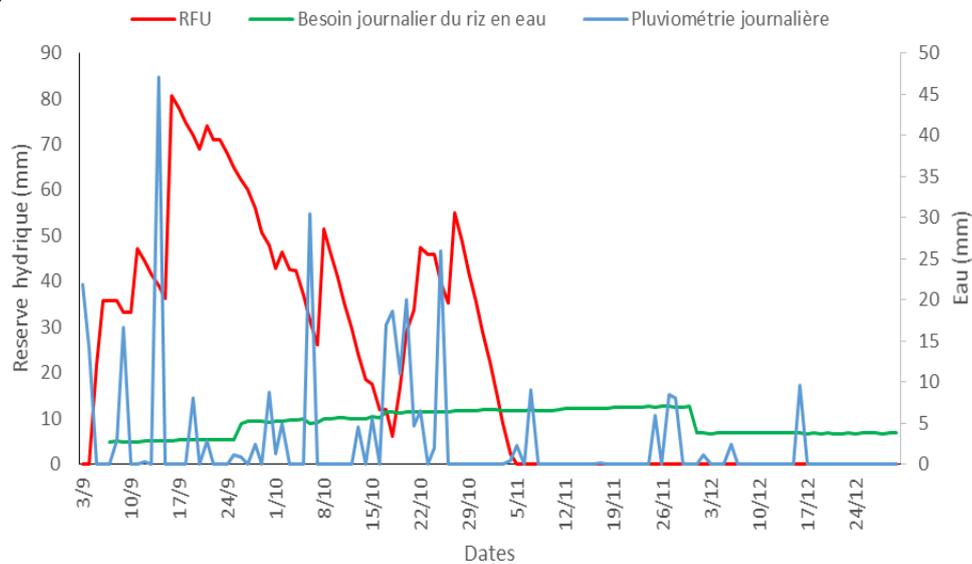
**Figure 13 : variations des températures minimales journalières au cours des essais de 2016 (a) et de 2017 (b)-test de rupture de Pétitt**

Concernant les conditions hydriques, en 2016, le cumul pluviométrique annuel était de 1074 mm. La seconde moitié de la saison des pluies a démarré le 01 septembre 2016 (quatre jours

avant le semis) et a pris fin le 13 novembre 2016 à la fin de la saison des pluies (69 JAS). Elle a duré 73 jours et a connu un cumul pluviométrique de 292 mm. L'essai de 2016 a duré 114 jours et a connu un cumul pluviométrique de 292 mm. La répartition pentadaire de la pluviométrie au cours du cycle a révélé un déficit hydrique d'une durée cumulée de six pentades. Deux pentades sèches sont intervenues respectivement à partir de 51 JAS et à partir de 66 JAS durant la phase d'épiaison-floraison du riz et une sécheresse de fin de cycle est intervenue à partir du 15 décembre (101 JAS) lorsque le riz était à la phase de maturation. L'estimation du bilan hydrique a révélé que la Reserve Facilement Utilisable (RFU) a atteint son maximum à 80,53 mm avant de s'épuiser le 1<sup>er</sup> novembre 2016 (57JAS) (Figure 14a).

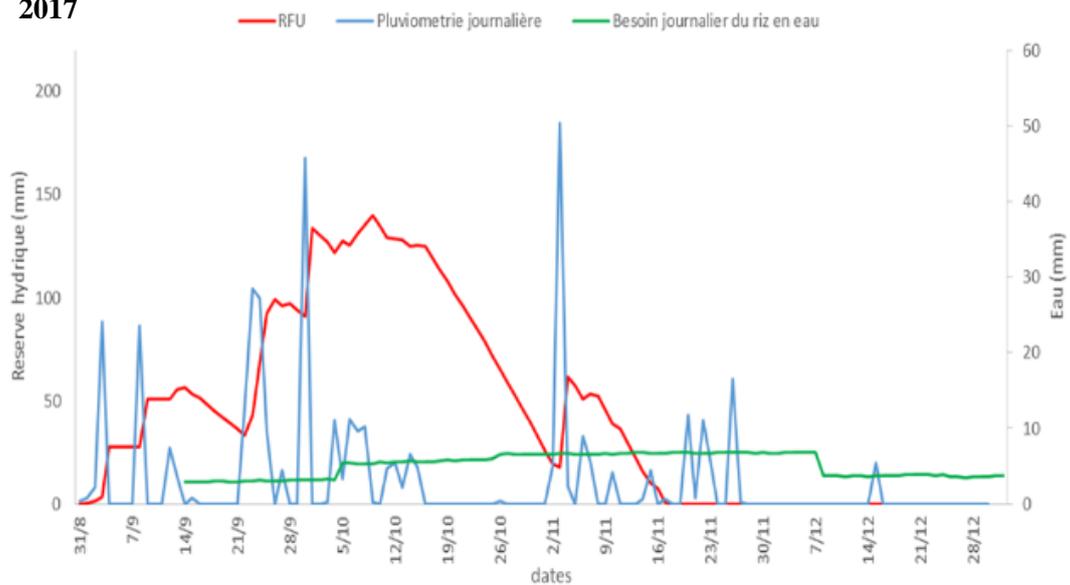
En 2017, le cumul pluviométrique annuel était de 1200 mm. La seconde moitié de la saison des pluies a démarré le 22 septembre 2017 (09 jours avant le semis) et a pris fin le 20 novembre 2017, à la fin de la saison des pluies (59 JAS). Elle a duré 59 jours et a connu un cumul pluviométrique de 280,5 mm. L'essai de 2017 a duré 118 jours et a connu durant cette période un cumul pluviométrique de 344 mm. La répartition pentadaire de la pluviométrie a révélé un déficit hydrique d'une durée cumulée de 6 pentades. Une pentade sèche a été observée à partir du 21 octobre (38 JAS) pendant que le riz était au tallage. Trois (03) pentades sèches sont intervenus à partir du 30 novembre (78 JAS) pendant la phase épiaison-floraison du riz et une sécheresse de fin de cycle a également été observée à partir du 20 décembre (98 JAS) lorsque le riz était à la phase de maturation. Le bilan hydrique montre que la Reserve Facilement Utilisable (RFU) a atteint son maximum à 140 mm avant de s'épuiser le 18 novembre 2017 (66 JAS) (Figure 14b).

2016



a)

2017



b)

**Figure 14 : variations de la Réserve Facilement Utilisable (RFU) au cours des essais de 2016 (a) et de 2017(b)**

Les conditions climatiques, notamment les conditions hydriques et de températures décrites plus haut sont celles qui ont prévalu pendant la mise en œuvre des différentes méthodes de lutte et dont les effets sur la population d'adventices sont décrits à l'article 6.1.2.

## 6.1.2. Effets des méthodes de lutte sur la population d'adventices

### 6.1.2.1. Richesse de la flore adventice du site d'essai

L'identification de la flore adventice du site expérimental a montré qu'elle était composée de 73 espèces issues de 22 familles (Tableau 5). Les Poaceae étaient les plus représentatives (55%) avec dix espèces d'adventices les plus présentes que sont *Dactyloctenium aegyptium*, *Hachelochloa granularis*, *Brachiaria lata*, *Digitaria horizontalis*, *Digitaria insularis*, *Imperata cylindrica*, *Brachiaria deflexa*, *Desmodium tortuosum*, *Panicum maximum* et *Setaria pallide-fusca*. Les Poaceae étaient suivies des adventices à feuilles larges (44%) avec les dix espèces les plus fréquentes que sont *Croton hirtus*, *Tridax procumbens*, *Euphorbia heterophylla*, *Porophyllum ruderale*, *Corchorus tridens*, *Centrosema pubescens*, *Desmodium scorpyrius*, *Ipomoea eriocarpa*, *Spigelia anthelmia* et *Celosia trigyna*. Enfin, les adventices à feuilles larges étaient suivies par les Cyperaceae (1 %) avec une seule espèce qui est la plus représentative : *Cyperus sphacelatus*.

**Tableau 5 : composition de la flore adventice naturelle avec les notes moyennes de recouvrement des grands groupes d'adventices**

Groupe	Nom scientifique	Famille	Recouvrement (%)
Poaceae	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Poaceae	55
	<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze	Poaceae	
	<i>Brachiaria lata</i> (Schumach.) C.E.Hubb.	Poaceae	
	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Poaceae	
	<i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde.	Poaceae	
	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeuschel	Poaceae	
	<i>Brachiaria deflexa</i> (Schum.) C.E.Hubb.	Poaceae	
	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Poaceae	
	<i>Setaria pallide-fusca</i> (Schumach.)	Poaceae	
	<i>Sporobolus pyramidalis</i> Beauv.	Poaceae	
	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (Lam.) Hitchc. & Ch	Poaceae	
	<i>Paspalum orbiculare</i> G.Forst.	Poaceae	
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Poaceae	
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	Poaceae	
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	Poaceae	
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	Poaceae	
	<i>Leptochloa caerulea</i> Steud	poaceae	
	<i>Digitaria delicatula</i> Stapf	Poaceae	

Groupe	Nom scientifique	Famille	Recouvrement (%)
Adventices à feuilles larges	<i>Croton hirtus</i> L'Hér	Euphorbiaceae	44
	<i>tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	
	<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	Asteraceae	
	<i>Corchorus tridens</i> L.	Tiliaceae	
	<i>Centrosema pubescens</i> Benth	Fabaceae	
	<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	Fabaceae	
	<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Fabaceae	
	<i>Ipomoea eriocarpa</i> R.Br.	Convolvulaceae	
	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	loganiaceae	
	<i>Celosia trigyna</i> L.	Amaranthaceae	
	<i>Indigofera hirsuta</i> L.	Fabaceae	
	<i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Royle,	Euphorbiaceae	
	<i>Passiflora foetida</i> L.	passifloraceae	
	<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	commelinaceae	
	<i>Sida urens</i> L.	Malvaceae	
	<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Willd.	Portulacaceae	
	<i>Physalis angulata</i> L.	solanaceae	
	<i>Boerhaavia diffusa</i> L.	Nyctaginaceae	
	<i>Sida stipulosa</i> L.	Malvaceae	
	<i>Cassia hirsuta</i> L.	Caesalpiniaceae	
	<i>Mitracarpus scaber</i> Zucc	rubiaceae	
	<i>Cassia absus</i> L.	Caesalpiniaceae	
	<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	molluginaceae	
	<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	Convolvulaceae	
	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae	
	<i>Croton lobatus</i> L.	Euphorbiaceae	
	<i>Boerhavia erecta</i> L.	Nyctaginaceae	
	<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.	Amaranthaceae	
	<i>Margaritaria discoidea</i> (Baill.) G.L. Webster	Euphorbiaceae	
	<i>Cassia mimosoides</i> L.	caesalpiniaceae	
	<i>Boerhavia erecta</i> L.	Nyctaginaceae	
	<i>Corchorus olitorius</i> L.	Malvaceae	
	<i>physalis angulata</i> L.	solanaceae	
	<i>Combretum paniculatum</i> Vent.	Combretaceae	
	<i>cleome viscosa</i> L.	Cleomaceae	
	<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl.	Sterculiaceae	
	<i>Ficus exasperata</i> Vahl.	Moraceae	
	<i>Millettia zechiana</i> Harms	Fabaceae	
	<i>Piliostigma thonningi</i> (Schumach.)	Caesalpiniaceae	
	<i>Physalis micrantha</i> Link	solanaceae	
<i>Solanum erianthum</i> D.Don.	solanaceae		
<i>Desmodium asperum</i> (Poir.) Desv.	Fabaceae		
<i>Sida acuta</i> Burm.f.	Malvaceae		
<i>Indigofera geminata</i> Baker.	Fabaceae		
<i>Physalis micrantha</i> Link.	solanaceae		
<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	Phyllanthaceae		
<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	rubiaceae		
<i>Aeschynomene americana</i> L.	Fabaceae		
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	Euphorbiaceae		

Groupe	Nom scientifique	Famille	Recouvrement (%)
Cyperaceae	<i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb.	cyperaceae	1
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	cyperaceae	
	<i>Mariscus alternifolius</i> Vahl	cyperaceae	
	<i>Mariscus cylindristachyus</i> Steudel.	cyperaceae	
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	cyperaceae	
	<i>Mariscus alternifolius</i> Vahl	cyperaceae	
	<i>Mariscus cylindristachyus</i> Steud	cyperaceae	

### 6.1.2.2. Évolution de la flore adventice suivant les méthodes de lutte

Sur les deux années d'étude, les graphiques de la figure 15 donne l'évolution des trois grands groupes d'adventices (Poaceae, adventices à feuilles larges, Cyperaceae) suivant les méthodes de lutte à 45 JAS, à 80 JAS et à Maturité.

A toutes les périodes d'observation, comparativement à la parcelle enherbée du semis à la récolte (T0), il a été constaté une diminution de la proportion des Poaceae pour tous les traitements. Par ordre d'importance, cette diminution a été observée sur les traitements T3 et T4, ensuite sur les traitements T6 et T7 et enfin sur les traitements T2 et T5. Il a également été noté une augmentation de la proportion des adventices à feuilles larges. Par ordre d'importance, cette augmentation a été observée avec les traitements T3 et T4, ensuite avec les traitements T6 et T7 et enfin avec les traitements T2 et T5. Il a été aussi constaté une augmentation de la proportion des Cyperaceae. Par ordre d'importance, cette augmentation a concerné les traitements T2 et T5, ensuite les traitements T4 et T7 et enfin les traitements T3 et T6.

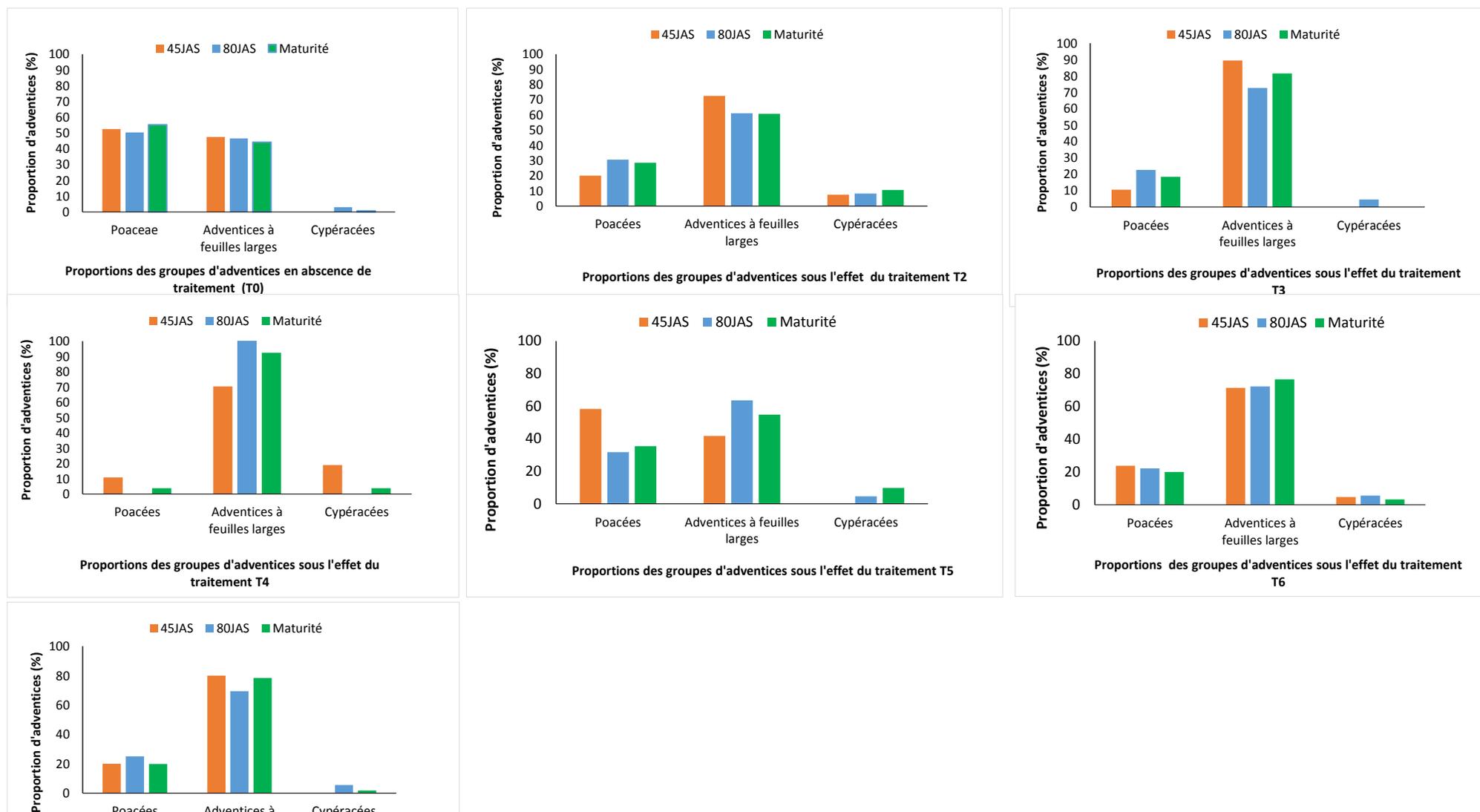


Figure 15 : proportions des différents groupes d'adventices selon les traitements T0, Enherbé du semis à la récolte ; T2, 2 sarclages; T3, pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage;T4, pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage; T5, post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage;T6, post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7, sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr).

### 6.1.2.3. Effets des méthodes de lutte sur la croissance des adventices

L'analyse multivariée de la variance (MANOVA) a montré que l'année, le Jour Après Semis (JAS), le traitement et leurs interactions ont un effet significatif sur la croissance des adventices et singulièrement sur la note de recouvrement, la densité et la biomasse des adventices (Tableau 6).

**Tableau 6 : test de Wilks**

	année	jas	trait	année*jas	année*trait	jas*trait	année*jas*trait
<b>Lambda</b>	0,020	0,028	0,000	0,222	0,002	0,008	0,071
<b>F (Valeurs observées)</b>	1001,862	715,257	167,077	72,392	60,469	37,145	12,885
<b>DDL1</b>	3	3	21	3	21	21	21
<b>DDL2</b>	62	62	179	62	179	179	179
<b>F (Valeur critique)</b>	2,753	2,753	1,615	2,753	1,615	1,615	1,615
<b>p-value</b>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

La comparaison multiple par paires des traitements a été effectuée à l'aide du test de Fisher, en compilant les données sur les deux années d'étude et par JAS, pour tenir compte de l'effet des facteurs étudiés et de leurs interactions (Tableau 7).

A 45 JAS, le traitement T1 a permis d'obtenir la densité d'adventices la plus faible (0 pieds/m<sup>2</sup>) et la biomasse sèche d'adventices la plus faible (0 g/m<sup>2</sup>). Il était différent du témoin T0 qui a obtenu la densité d'adventices la plus élevée (275,86 pieds/m<sup>2</sup>) et la biomasse sèche d'adventices la plus élevée (261,25 g/m<sup>2</sup>). Cependant, le traitement T1 n'était pas différent des autres traitements intermédiaires pour lesquels les densités ont varié de 17,98 à 45,90 pieds/m<sup>2</sup> et les biomasses sèches de 10,56 à 37,17g/m<sup>2</sup>. Quant à la note de recouvrement, le traitement T1 a favorisé la note de recouvrement la plus faible (00). Il était différent du témoin T0 pour qui la note de recouvrement était la plus élevée (8,5). Il était également différent des traitements intermédiaires dont les notes de recouvrement ont varié de 1,52 à 2,76. Parmi ces traitements intermédiaires, le traitement T4 a obtenu la note de recouvrement la plus faible (1,52).

A 80 JAS, l'analyse a révélé que les traitements T1, T4 et T3 ont donné les densités d'adventices les plus faibles comprises entre 0 et 45,65 pieds/m<sup>2</sup>. Ils étaient différents du témoin T0 qui a obtenu la densité d'adventices la plus élevée (367,65 pieds/m<sup>2</sup>). Les autres traitements intermédiaires ont obtenu des densités d'adventices comprises entre 56,13 et 98,04 pieds/m<sup>2</sup>. Concernant les biomasses sèches, les traitements T1, T4, T3, T5 et T6 ont permis d'obtenir les

biomasses sèches les plus faibles variant de 0 à 42,75 g/m<sup>2</sup>. Ils étaient différents du traitement T0 qui a obtenu la biomasse sèche la plus élevée (403,57g/m<sup>2</sup>). Les traitements intermédiaires T2 et T7 ont obtenu respectivement 78,23 à 84,99 g/m<sup>2</sup> comme biomasses sèches. Relativement à la note de recouvrement, le témoin T1 a permis d'obtenir la note de recouvrement la plus faible (00). Il était différent du témoin T0 pour lequel la note de recouvrement était la plus élevée (8,5). Il était également différent des traitements intermédiaires dont les notes de recouvrement étaient comprises entre 3,00 et 5,50. Parmi ces traitements intermédiaires, T4 a obtenu la note de recouvrement la plus faible.

**Tableau 7 : valeurs Moyennes des paramètres densité, biomasse et note de recouvrement des adventices à 45 JAS et à 80 JAS sur les deux années d'étude suivant les méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz pluvial (Nerica1).**

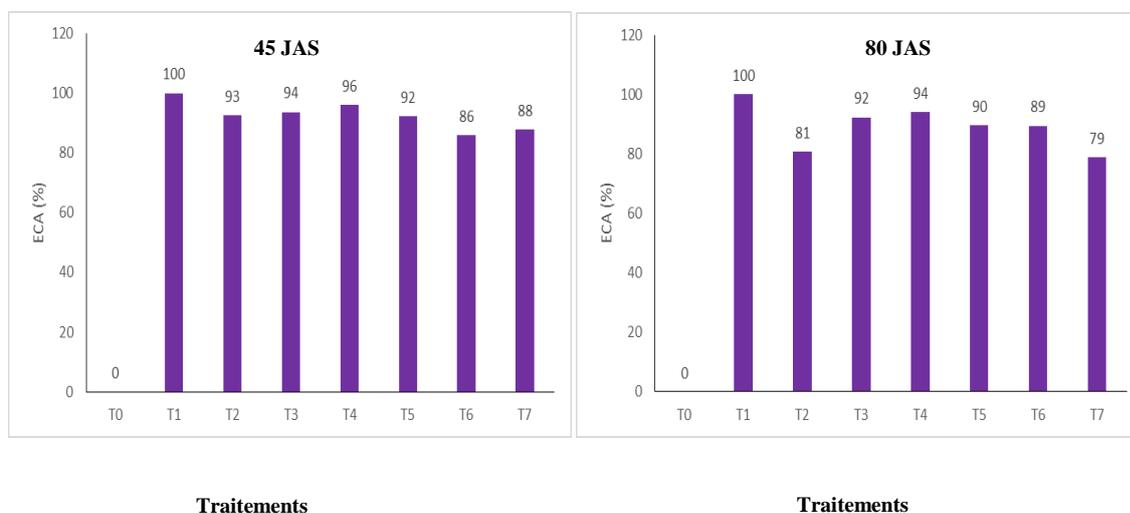
Traitement	Densité des adventices (pieds/m <sup>2</sup> )		Biomasse des adventices (g/m <sup>2</sup> )		Note de recouvrement des adventices	
	45 JAS	80 JAS	45 JAS	80 JAS	45JAS	80 JAS
<b>T0</b>	275,86 b	367,65 e	261,25 b	403,57 c	8,50 d	8,50 e
<b>T1</b>	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
<b>T2</b>	28,29 a	91,47 cd	19,52 a	78,23 b	2,72 c	5,50 d
<b>T3</b>	24,91 a	45,65 abc	16,66 a	31,09 ab	2,38 c	3,83 bc
<b>T4</b>	17,98 a	38,65 ab	10,56 a	23,89 ab	1,52 b	3,00 c
<b>T5</b>	28,33 a	56,13 bcd	20,09 a	41,54 ab	2,76 c	4,17 bcd
<b>T6</b>	45,90 a	56,97 bcd	37,17 a	42,75 ab	2,34 c	3,92 bc
<b>T7</b>	43,58 a	98,04 d	31,89 a	84,99 b	2,74 c	5,25 cd

**T0 : Enherbé du semis à la récolte; T1 : Parcelles maintenues propres du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage;T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage;T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage;T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). Les valeurs suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.**

#### 6.1.2.6. Efficacité du contrôle de la population d'adventices

L'Efficacité du Contrôle de la population d'Adventices (ECA), qui synthétise l'effet des méthodes de lutte sur la croissance des adventices, a été calculée pour chaque traitement à 45 JAS et à 80JAS (Figure 16). À 45 JAS, le traitement témoin T1 a favorisé l'efficacité maximale (100%). Les autres traitements ont permis d'obtenir des efficacités intermédiaires qui ont varié de 86 à 96%. En dehors du témoin T1, c'est le traitement T4 qui a permis d'obtenir la meilleure efficacité (96%). Il était suivi du traitement T3 (94%) puis du traitement T5 (92%). À 80 JAS, le témoin T1 a permis d'obtenir l'efficacité maximale (100%). Les autres traitements ont permis d'obtenir une efficacité intermédiaire qui variait de 81 à 94%. En dehors du témoin T1, le

traitement T4 a permis d'obtenir la meilleure efficacité (94%). Il était suivi du traitement T3 (92%) puis du traitement T5 (90%).



**Figure 16 : efficacités du Contrôle des Adventices (ECA) suivant les traitements. T0 : Enherbée du semis à la récolte ; T1 : Maintenu propre du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage; T4 : pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage + paillage; T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage ;T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr).**

Au regard des résultats des effets des méthodes de lutte sur la croissance des adventices et des résultats de l'efficacité du contrôle de la population d'adventices par ces méthodes, les performances, en termes de réduction des paramètres de croissance des adventices, ont été obtenues, dans l'ordre décroissant d'efficacité, par les traitements T1, T4, T3, T5, T6, T2, T7 et T0.

Qu'en est-il des effets de ces méthodes de lutte contre les adventices sur le riz pluvial ?

### **6.1.3. Effets des méthodes de lutte contre les adventices sur le riz pluvial**

#### **6.1.3.1. Effets des méthodes de lutte contre les adventices sur la phénologie du riz pluvial**

L'analyse multivariée de la variance (MANOVA) a montré que l'année, le traitement et leur interaction ont un effet significatif sur la phénologie du riz pluvial et singulièrement sur la durée semis tallage, la durée semis épiaison, la durée semis floraison et durée semis maturité (Tableau 8).

**Tableau 8: test de Wilks**

	<b>année</b>	<b>trait</b>	<b>année*trait</b>
<b>Lambda</b>	0,110	0,193	0,275
<b>F (Valeurs observées)</b>	58,741	2,188	1,630
<b>DDL1</b>	4	28	28
<b>DDL2</b>	29	106	106
<b>F (Valeur critique)</b>	2,701	1,583	1,583
<b>p-value</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,002</b>	<b>&lt; 0,040</b>

Les comparaisons multiples par paires pour le traitement ont été effectuées à l'aide du test de Fisher, en compilant les données sur les deux années d'étude pour tenir compte des effets de l'année, du traitement et de leur interaction (Tableau 9).

Les tallages les plus précoces ont été obtenus avec les traitements T1 et T4. Ces traitements étaient différents du traitement T0 qui a obtenu le tallage le plus tardif (39,50 jours). Les autres traitements, intermédiaires, ont obtenu des durées de tallage comprises entre 37,17 et 38,83 jours.

L'épiaison la plus précoce a été obtenue par le traitement T1 (71,67 jours) qui était différent du traitement T0 qui a obtenu l'épiaison la plus tardive (74,50 jours). Les autres traitements, intermédiaires, ont obtenu des épiaisons dont les durées sont comprises entre 72,17 et 73,67 jours. Parmi ceux-ci, le traitement T4 a obtenu l'épiaison la plus précoce.

La floraison la plus précoce a été obtenue avec le traitement T1 (83,83 jours) qui était différent du traitement T0 qui a obtenu la floraison la plus tardive (87 jours). Les autres traitements, intermédiaires, ont obtenu des floraisons de durées similaires comprises entre 84 et 86,17 jours.

La maturité la plus précoce a été obtenue avec le traitement T1 (112,50 jours) qui était différent du traitement T0 qui a obtenu la maturité la plus tardive (116 jours). Les autres traitements, intermédiaires, ont obtenu des maturités dont les durées sont comprises entre 113 et 115,33 jours. Parmi ces traitements, T4 est celui qui a obtenu la maturité la plus précoce (113 jours).

**Tableau 9 : valeurs moyennes de la durée des différents stades phénologiques sur les deux années d'étude sous l'effet des méthodes de lutte intégrée les adventices en culture du riz pluvial (Nerica 1).**

Traitement	DST (jours)	DSE (jours)	DSF (jours)	DSM (jours)
T0	39,50 c	74,50 d	87,00 b	116,00 c
T1	36,33 a	71,67 a	83,83 a	112,50 a
T2	38,33 bc	73,67 cd	85,67 ab	114,33 abc
T3	38,83 bc	73,50 bcd	86,00 ab	115,33 c
T4	36,17 a	72,17 ab	84,00 ab	113,00 abc
T5	38,17 bc	73,50 bcd	86,17 ab	114,83 bc
T6	37,67 ab	73,00 abc	85,00 ab	114,50 abc
T7	37,17 ab	73,17 bcd	85,00 ab	113,83 abc

T0 : Enherbé du semis à la récolte; T1 : Parcelles maintenues propres du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage;T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage;T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage;T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). Les valeurs suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

### 6.1.3.2. Effets des méthodes de lutte sur la croissance et le rendement du riz

L'analyse multivariée de la variance (MANOVA) a montré que l'année, le traitement et leur interaction ont un effet significatif sur la croissance et sur le rendement du riz pluvial et singulièrement sur le nombre de talles, la hauteur du riz, l'indice de surface foliaire, le nombre d'épillets par panicule, le Poids de Mille Grains, la biomasse sèche et le Rendement en grains du riz pluvial (Tableau 10).

**Tableau 10 :test de Wilks**

	année	trait	année*trait
<b>Lambda</b>	0,003	0,000	0,000
<b>F (Valeurs observées)</b>	669,154	9,666	8,957
<b>DDL1</b>	10	70	70
<b>DDL2</b>	23	141	141
<b>F (Valeur critique)</b>	2,275	1,392	1,392
<b>p-value</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>

Les comparaisons multiples par paires pour le traitement ont été effectuées à l'aide du test de Fisher, sur la compilation des données des deux années d'étude afin de tenir compte de l'effet de l'année, du traitement et de leur interaction (Tableau 11)

Le traitement T1 a obtenu le riz le plus grand. Il était différent du traitement T0 qui a obtenu le riz le plus petit. Les autres traitements, intermédiaires, ont obtenu des riz dont les hauteurs sont comprises entre 81 et 85,39 cm.

L'indice de surface foliaire la plus élevée a été obtenu avec le traitement T4 (1,43). Il était différent du traitement T0 qui a obtenu l'indice de surface foliaire la plus basse (0,98). Les autres traitements intermédiaires ont obtenu des indices de surface foliaire comprises entre 1,03 et 1,30.

La biomasse aérienne sèche la plus élevée a été obtenue avec le traitement T1. Il était différent du traitement T0 qui a obtenu la biomasse riz la plus faible. Les autres traitements ont obtenu des biomasses aériennes sèches du riz, intermédiaires, comprises entre 732,17 et 1203,91kg/ha. Parmi ces traitements intermédiaires, T4 a obtenu la biomasse la plus élevée.

Le nombre de talles le plus élevé a été obtenu avec le traitement T4 (237,83 talles/m<sup>2</sup>). Il était différent du traitement T0 qui a obtenu le nombre de talles le plus faible (79,67 talles/m<sup>2</sup>). Les autres traitements intermédiaires ont obtenu des nombres de talles compris entre 141,67 et 208,33 talles/m<sup>2</sup>.

Les poids de mille grains les plus élevés ont été obtenu avec les traitements T1 (20,50 g), T6 (20,45 g), T4 (20,09 g), T5 (18,75 g) et T3 (18,35g). Ils étaient différents du traitement T0 qui a obtenu le poids de mille grains le plus faible (14,07 g).

Le rendement grains le plus élevé a été obtenu avec le traitement T1 (779,27 Kg/ha). Il était différent du traitement T0 qui a obtenu le rendement grains le plus faible (72,80 Kg/ha). Les autres traitements ont obtenu des rendements intermédiaires compris entre 336,49 et 589,34 Kg/ha. Parmi ceux-ci, le traitement T4 a obtenu le rendement grains le plus élevé (589,34 Kg/ha).

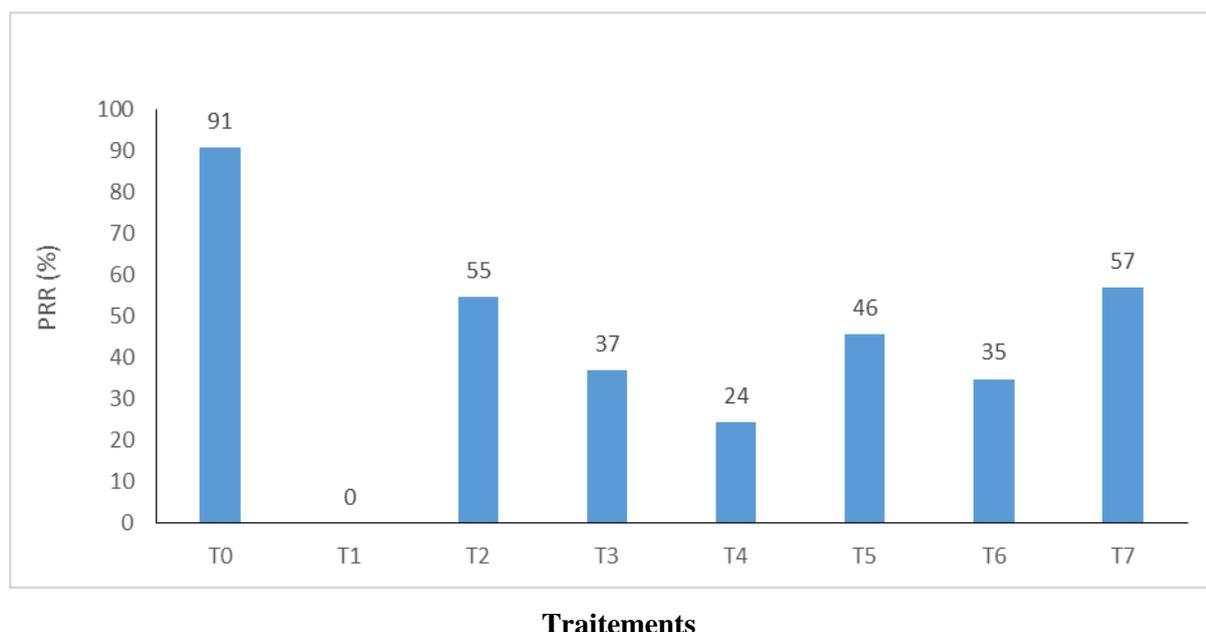
**Tableau 11: valeurs moyennes de la hauteur du riz, de l'Indice de surface foliaire, de la biomasse aérienne sèche, du nombre de talles, du poids de mille grains et du rendement grains sur les deux années d'étude sous l'effet des méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz pluvial (Nerica 1).**

Traitement	Hauteur du riz (cm)	Indice de Surface Foliaire (LAI)	Biomasse aérienne sèche du riz (Kg/ha)	Nombre de talles/m <sup>2</sup>	Poids de mille grains (PMG)	Rdtg (Kg/ha)
T0	70,89 a	0,98 a	171,79 a	79,67 a	14,07 a	72,80 a
T1	87,54 b	1,30 bc	1584,75 c	179,17 bcd	20,50 c	779,27 c
T2	81,00 ab	1,03 ab	732,17 abc	141,67 ab	14,47 ab	352,98 abc
T3	84,44 ab	1,15 ab	1007,50 abc	172,00 bc	18,35 c	490,65 abc
T4	85,39 ab	1,43 c	1203,91 bc	237,83 d	20,09 c	589,34 bc
T5	84,00 ab	1,11 ab	874,31abc	170,83 bc	18,75 c	423,89 abc
T6	85,28 ab	1,28 bc	1042,55 bc	208,33 cd	20,45 c	508,17 bc
T7	80,72 ab	1,14 ab	699,18 ab	166,17 bc	17,70 bc	336,49 ab

T0 : Enherbé du semis à la récolte; T1 : Parcelles maintenues propres du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage; T4 : pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage + paillage; T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage; T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). Les valeurs suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

#### 6.1.3.4. Perte relative de rendement

La Perte Relative de Rendement (PRR), qui synthétise la perte de rendement due aux d'adventices, a été calculé pour chaque traitement (Figure 17). Le témoin T1 a enregistré la plus faible valeur du PRR (0%) car n'ayant pas perdu de rendement du fait des adventices. Par contre, la perte de rendement la plus importante a été observée avec le traitement T0. Les adventices ont occasionné des pertes de rendement de l'ordre de 91%. Avec les autres traitements, les PRR ont varié entre 24 et 57%. En dehors des traitements témoins, la PRR la plus faible a été obtenue avec le traitement T4 (24%). Il a été suivi du traitement T6 (35%) puis du traitement T3 (37%).



**Figure 17 : perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements. T0 : Enherbée du semis à la récolte ; T1 : Maintenu propre du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage; T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage; T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage ;T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr).**

Les résultats des effets des méthodes de lutte contre les adventices sur la phénologie, la croissance et les rendements paille et grains du riz pluvial, indiquent que les performances, en terme d'impact positif sur le riz, ont été obtenues, dans l'ordre décroissant d'efficacité, par les traitements T1, T4, T6, T3, T5, T2, T7 et T0.

#### 6.1.4. Évaluation économique des traitements

L'analyse économique des méthodes de lutte intégrée contre les adventices a révélé une grande variabilité des Marges Brutes (MB) et Marges Nettes (MN) (Tableau 12). La plus grande valeur de MB a été enregistrée avec le témoin T1 (116,891 FCFA/ha) tandis que le témoin T0 a enregistré la plus faible valeur (10 920 F CFA/ha). Parmi les méthodes de lutte intégrée étudiées, la plus grande Marge Brute a été obtenue avec le traitement T4 (88 401 F CFA/ha). Il est suivi du traitement T6 (76 226 F CFA/ha) puis du traitement T3 (73 598 F CFA/ha). En déduisant des MB les coûts relatifs au désherbage, il en a résulté les MN. L'analyse de ces MN révèle que le témoin T0 qui a enregistré la plus faible MB a obtenu la plus grande MN (10 920 F CFA/ha) et que le témoin T1, qui avait donné la plus grande MB, a obtenu la plus petite MN

( -443 110 F CFA). Parmi les méthodes de lutte intégrées, c'est le traitement T3 qui a permis d'obtenir la MN la plus grande (5 598 FCFA/ha). Il est suivi du traitement T5 (3 584 F CFA/ha) puis du traitement T4 (-59 599 F CFA/ha).

Les marges nettes négatives ont montré que les ressources obtenues par les cultures, avec ces traitements, n'ont pas permis de couvrir les charges relatives à la mise en œuvre de la méthode de lutte contre les adventices. Le témoin T1 a le coût de désherbage le plus élevé (560 000 F CFA/ha), il est suivi du traitement T4 (148 000 F CFA/ha) puis des traitements T6 et T7 (140 000 F CFA/ha). Les coûts du désherbage sont, par ordre de grandeur, de 80 000 F CFA/ha pour le paillage, 35 000 F CFA/ha pour le sarclage manuel, 33 000 F CFA/ha pour l'herbicide de pré-émergence et de 25 000 F CFA/ha pour l'herbicide de post-émergence.

Les performances économiques, ont été obtenues, par ordre de grandeur, par les traitements T0, T3, T5, T2, T4, T6, T7 et T1. Seuls les traitements T3 et T5 ont été économiquement rentables, dans les conditions d'étude, avec des marges nettes positives qui étaient respectivement de 5 598 F CFA/ha et de 3 584 F CFA/ha.

**Tableau 12 : évaluation économique des différents traitements.**

Label	Traitements	Coût de l'herbicide (FCFA/ha)	Coût de la Main d'œuvre pour la pulvérisation (FCFA/ha)	Coût du sarclage (F CFA/ha)	Coût de la paille + transport (F CFA/ha)	Coût de la main d'œuvre pour le paillage (F CFA/ha)	Coût total du désherbage( F CFA/ha)	Rendement (Kg/ha)	Prix de vente du kg de riz paddy (F CFA)	Marge Brute (F CFA/ha)	Marge Nette (F CFA/ha)
<b>T0</b>	Enherbé du semis à la récolte	0	0	0	0	0	<b>0</b>	72,80	150	<b>10 920</b>	<b>10 920</b>
<b>T1</b>	Parcelle maintenue propre du semis à la récolte	0	0	560 000	0	0	<b>560 000</b>	779,27	150	<b>116 891</b>	<b>-443 110</b>
<b>T2</b>	2 sarclages	0	0	70 000	0	0	<b>70 000</b>	352,98	150	<b>52 947</b>	<b>-17 053</b>
<b>T3</b>	Herbicide de pré-émergence + sarclage	28 000	5 000	35 000	0	0	<b>68 000</b>	490,65	150	<b>73 598</b>	<b>5 598</b>
<b>T4</b>	Herbicide de pré-émergence + sarclage + paillage	28 000	5 000	35 000	30 000	50 000	<b>148 000</b>	589,34	150	<b>88 401</b>	<b>-59 599</b>
<b>T5</b>	Herbicide de post-émergence + sarclage	20 000	5 000	35 000	0	0	<b>60 000</b>	423,89	150	<b>63 584</b>	<b>3 584</b>
<b>T6</b>	Herbicide de post-émergence + sarclage + paillage	20 000	5 000	35 000	30 000	50 000	<b>140 000</b>	508,17	150	<b>76 226</b>	<b>-63 775</b>
<b>T7</b>	Sarclage + paillage + herbicide de post-émergence	20 000	5 000	35 000	30 000	50 000	<b>140 000</b>	336,49	150	<b>50 474</b>	<b>-89 527</b>

**T0 : Enherbé du semis à la récolte; T1 : Parcelles maintenues propres du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage; T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage; T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage ; T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). Les valeurs suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.**

Les résultats de l'expérimentation au champ, effectué en 2016 et 2017, ont relevé les conditions hydriques et de températures qui ont prévalu lors des essais. Ils ont identifié la flore adventice présente en culture du riz pluvial et son évolution suivant les méthodes de lutte. Les résultats ont également indiqué que l'ordre décroissant d'efficacité des traitements s'établissaient à T1, T4, T3, T5, T6, T2, T7 et T0 en ce qui concerne la réduction de la croissance des adventices et à T1, T4, T6, T3, T5, T2, T7 et T0 en ce qui concerne l'impact positif sur la croissance et le rendement du riz pluvial. En ce qui concerne les performances économiques, les résultats ont montré que les traitements, par ordre de grandeur, s'établissaient à T0, T3, T5, T2, T4, T6, T7 et T1 et que seuls les traitements T3 et T5 étaient économiquement rentables dans les conditions d'étude. Ces résultats, issus de l'expérimentation au champ, ont été discutés dans le section 6.2.

## **6.2 Discussions de l'expérimentation au champ**

### **6.2.1. Conditions hydriques et de températures enregistrées au cours des essais**

Sur les deux années d'expérimentation au champ, les essais ont été menés sur la même période c'est-à-dire durant la seconde moitié de la saison des pluies (septembre-novembre). Les températures enregistrées au cours des deux essais ont eu des évolutions identiques et dans les mêmes ordres de grandeurs. Elles ont été marquées par une rupture à la hausse des températures maximales et à la baisse des températures minimales. Ces températures, comprises entre 26 et 37°C pour les températures maximales et entre 14 à 24°C pour les températures minimales, sont proches de celles qui sont nécessaires à une croissance et un développement optimal du plant de riz (Chaudhary *et al.*, 2003). Les cumuls pluviométriques annuels (1074 mm en 2016 et 1200 mm en 2017) et les déficits hydriques observés au cours et en fin de cycles sont caractéristiques de la zone pré-forestière ivoirienne dans laquelle se situe le site de l'étude (MINESUDD, 2014). Les ruptures dans l'évolution des températures ainsi que les séquences sèches constatées, confirment la variabilité climatique à laquelle est confrontée toute la zone et mise en évidence par plusieurs études dont celui de Diomandé *et al.*(2017) dans le V-Baoulé. Pendant l'étude, les cycles de culture du riz pluvial NERICA 1 ont été marqués par une durée (114 jours en 2016 et 118 jours en 2017) supérieure à la durée de la seconde moitié de la saison des pluies (73 jours en 2016 et 59 jours en 2017) et ont connu des déficits hydriques cumulés de 6 pentades chacun suivi de sécheresses de fin de cycle. Cependant, l'essai de 2016, avec un cumul pluviométrique de 292 mm, a connu un déficit hydrique plus important que celui de 2017 avec un cumul pluviométrique de 344 mm de pluie.

### **6.2.2. Richesse de la flore adventice et méthodes de lutte intégrée**

La flore adventice naturelle du site expérimental était composée de 73 espèces issues de 22 familles. La liste des espèces reste conforme à celles des nombreux travaux réalisés en Côte d'Ivoire sur la flore adventice notamment ceux de Merlier (1982). Les plus représentatives étaient les Poaceae (55%), suivis des adventices à feuilles larges (44%), et enfin des Cyperaceae (1 %). Ces résultats rejoignent les travaux de Moody et Drost (1983) qui mentionnent la dominance des Poaceae sur les adventices à feuilles larges en riziculture pluviale ivoirienne. Toutefois, certains auteurs ont montré que ce sont les adventices à feuilles larges qui sont dominants en riziculture pluviale. C'est le cas de Anwar *et al.* (2013) en riziculture pluviale en Malaisie. La différence entre ces résultats pourrait être due aux variations des conditions agroécologiques, des pratiques de gestion et de la composition de la banque de graines de mauvaises herbes dans chaque zone comme l'indique Moody et Drost (1983) dans leur étude sur l'impact des systèmes de culture sur la flore adventice du riz. Concernant l'évolution des quatre grands groupes d'adventices suivant les traitements, les résultats indiquent que les Poaceae diminuent beaucoup plus avec les traitements T3 et T4 qu'avec les autres traitements. Il semblerait que l'herbicide de pré-émergence (Oxadiargyl), utilisé dans les traitements T3 et T4, soit plus efficace sur les Poaceae que l'herbicide de post-émergence (Propanil + de Triclopyr) qui lui, utilisé dans les traitements T5, T6 et T7, semble beaucoup plus efficace sur les adventices à feuilles larges.

### **6.2.3. Effets des méthodes de lutte intégrée sur la croissance des adventices**

En ce qui concerne la réduction des paramètres de croissance des adventices, comparativement au témoin T0 : parcelle enherbée du semis à la récolte, tous les traitements mis en œuvre ont permis de réduire significativement ces paramètres. Ce qui s'est traduit par des Efficacités de Contrôle des Adventices (ECA) supérieures à 80%. Ce résultat est similaire à celui de Juraimi *et al.* (2013) qui ont montré que des méthodes de lutte intégrée impliquant des herbicides et des désherbages manuels ont permis d'obtenir des Efficacités de Contrôles des Adventices (ECA) de plus de 80%. Le traitement T4 : pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage + paillage est la méthode de lutte intégrée qui a permis d'obtenir les meilleures réductions des paramètres de croissances des adventices. Il est suivi du traitement T3 : pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage puis du traitement T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage. Cela s'est traduit dans de fortes valeurs d'Efficacités de Contrôle des Adventices (ECA) obtenues par ces traitements qui sont de 94% pour le traitement T4, 92%

pour le traitement T3 et 90% pour le traitement T5. Ces résultats rejoignent ceux de Sunil *et al* (2010) qui ont montré que des valeurs élevées d'ECA ont été obtenues en riziculture pluvial par un traitement d'herbicide pré-émergent suivi d'un sarclage manuel à 40JAS. Déjà en 2008, Akintayo *et al* (2008) ont montré que l'application d'herbicides de pré-émergence suivie d'un désherbage manuel donnait des résultats satisfaisants dans la maîtrise des adventices. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'herbicide de pré-émergence diminue de façon importante la pression des adventices lors de la levée et de l'installation du riz et que le sarclage et/ou le paillage qui interviennent par la suite, réduisent la concurrence des adventices lors des stades tallage et épiaison-floraison. Aussi, Suria *et al* (2011) ont montré que l'utilisation d'herbicide post-émergence suivi d'un sarclage manuel à 43 JAS en riziculture pluvial a permis d'obtenir également de bon résultats. Au vu des résultats, il semble que le paillage permet d'obtenir de meilleurs résultats lorsqu'il est associé à un herbicide de pré-émergence qu'à un herbicide de post-émergence.

#### **6.2.4. Effets des méthodes de lutte sur la phénologie du riz pluvial**

Concernant la phénologie, parmi les méthodes de lutte intégrée, T4 a enregistré le tallage, l'épiaison et la maturité les plus précoces. Il semblerait que l'ajout de paille ait favorisé la précocité de ces stades phénologiques en luttant contre la sécheresse. L'on pourrait penser que le riz serait plus précoce en période moins sèche. Des essais similaires menés en plein saison des pluies par Bhurer *et al* (2013) au Népal, en zone subtropical, ont permis d'obtenir des stades phénologiques plus précoces et de meilleurs rendements. Les travaux de Sunil *et al* (2010) vont dans le même sens. De plus, les résultats de l'essai mené en mars 2017 dans la même zone d'étude, durant la première moitié de la saison des pluies, caractérisée par une pluviométrie plus abondante, semblent corroborer ces observations. En effet, les stades phénologiques enregistrés lors de cet essai étaient beaucoup plus précoces que les essais effectués en septembre.

#### **6.2.5. Effets des méthodes de lutte sur la croissance du riz, le rendement en grains et ses composantes**

Comparativement au témoin T0, pratiquement tous les autres traitements ont permis d'accroître significativement les paramètres de croissance et le rendement du riz pluvial. Cela semble être dû au fait que ces traitements arrivent à couvrir plus ou moins la période critique de contrôle des adventices que certains auteurs comme Anwar *et al* (2012) situent entre le 7<sup>e</sup> et le 49<sup>e</sup> jours après semis. Parmi les méthodes de lutte intégrée étudiées, ce sont, par ordre d'efficacité, les traitements T4, T6 et T3 qui ont permis d'obtenir les meilleurs paramètres de croissance et les

meilleurs rendements grains du riz pluvial. Ces résultats sont conformes à ceux de Sunil *et al* (2010) qui ont montré que les méthodes de lutte intégrée permettaient d'accroître le rendement grains du riz pluvial et ses composantes. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que ces traitements, couvrent la période critique de contrôle des adventices, réduisant ces derniers, donc la compétition interspécifique du riz pour les ressources en eau et en éléments nutritifs. Ce qui permet aux plants de riz d'utiliser les ressources disponibles plus efficacement que les mauvaises herbes et cela se traduirait finalement par de meilleurs rendements. Cela se traduit également par des Pertes Relatives de Rendement (PRR) inférieures à 40% pour ces traitements. Ce résultat rejoint les travaux de Blackshaw *et al* (2005) qui ont mis en évidence qu'en plus du choix d'une bonne semence et d'une bonne date de semis, l'usage raisonné d'herbicides permettait d'obtenir de bons rendements.

#### **6.2.6. Evaluation économique des méthodes de lutte contre les adventices**

L'analyse économique des traitements montre que la rentabilité des méthodes de lutte étudiées est fonction du coût du désherbage. Ce résultat rejoint celui de Juraimi *et al.* (2013). Le coût du désherbage connaît une grande variabilité dans notre étude. Les parcelles maintenues propres du semis à la récolte, quoiqu'elles permettent d'obtenir les meilleurs Marges Brutes (MB), finissent par donner les Marges Nettes les plus faibles à cause du coût élevé du désherbage. Ce résultat est également conforme à celui obtenu par Juraimi *et al.* (2013). Aussi, le désherbage à l'aide d'herbicide est moins coûteux que le désherbage manuel. Ainsi, le traitement comprenant uniquement du désherbage manuel requiert un investissement beaucoup plus élevé mais permet d'obtenir une Marge Nette (MN) beaucoup plus faible que le traitement qui comporte à la fois un traitement herbicide et un désherbage manuel. Le désherbage manuel est donc moins rentable que le désherbage chimique. Ce résultat est similaire à ceux de plusieurs auteurs dont Hussain et Mondal (2014) et Anwar *et al.* (2013) qui indiquent que, de ce fait, l'usage des herbicides se poursuivra encore pendant longtemps. Aussi, le désherbage par paillage, plus coûteux que le désherbage par herbicide et le désherbage manuel, s'avère également moins rentable. L'ajout du paillage permet d'accroître la Marge Brute (MB), mais par ailleurs, provoque une baisse de la Marge Nette (MN) dans une plus grande proportion à cause du coût élevé de sa mise en œuvre. D'ailleurs, plusieurs auteurs remettent en cause l'usage du paillage dans la lutte contre les adventices. C'est le cas de Naudin *et al.* (2012) qui révèlent qu'en culture de riz pluvial, le paillage ne peut avoir d'effet significatif sur l'émergence des adventices qu'avec des quantités de biomasse supérieures à 3T.ha<sup>-1</sup> qui sont souvent difficiles à atteindre en milieu paysan.

Au regard de la variabilité climatique de la zone d'étude, l'efficacité des méthodes de lutte intégrée, singulièrement celle des traitements T3 et T5, pourrait se voir entravée par l'occurrence de risques climatiques qui rendraient vulnérable la culture du riz pluvial en impactant négativement sa compétitivité vis à vis des adventices de la zone d'étude. Ainsi, afin d'atténuer les impacts négatifs de l'occurrence des risques climatiques dans la zone d'étude, ceux-ci ont été identifiés et les périodes optimales de semis du riz pluvial, susceptibles d'atténuer leurs effets, ont été déterminées. Les résultats de cette étude sont exposés et discutés au chapitre 7.

## CHAPITRE 7 : RESULTATS ET DISCUSSIONS DE L'IDENTIFICATION DES RISQUES CLIMATIQUES ET DE LA DETERMINATION DES PERIODES OPTIMALES DE SEMIS

### 7.1. Résultats de l'identification des risques climatiques et de la détermination des périodes optimales de semis

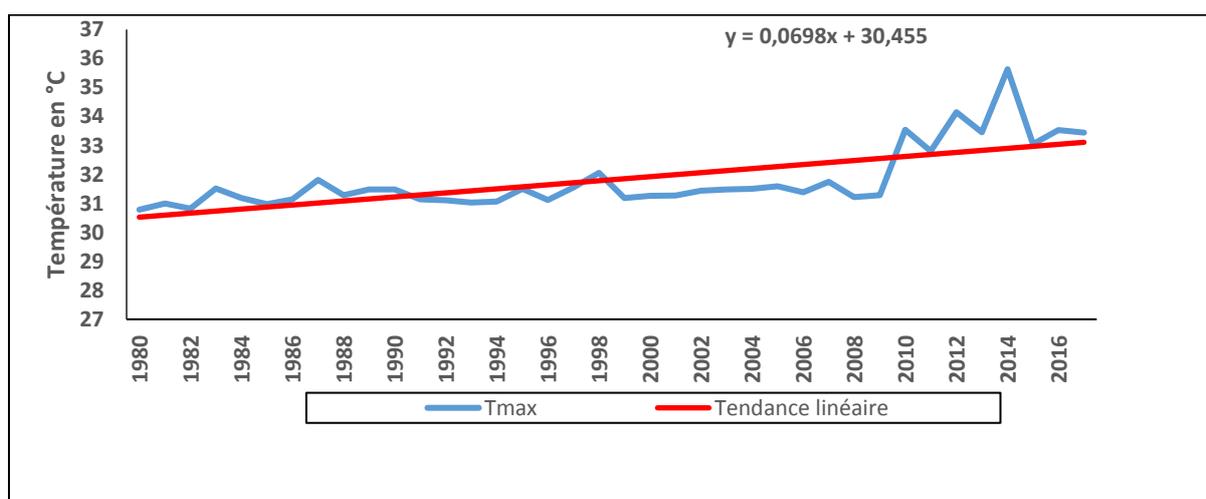
#### 7.1.1. Analyse des températures

L'analyse des températures concerne les températures maximales, minimales, moyennes et extrêmes.

Le tableau 13 donne la variabilité des températures maximales dans la zone d'étude. Il indique que les températures maximales ont varié entre 30,78°C et 35,63°C avec une moyenne de 31,82°C. Dans 80% des années, les températures maximales étaient inférieures à 32,86°C. L'analyse tendancielle des températures maximales de la zone d'étude a révélé une hausse de celles-ci. La pente de la tendance est positive (0,0698). Les températures maximales augmentent d'en moyenne 0,7°C par décennie (Figure 18).

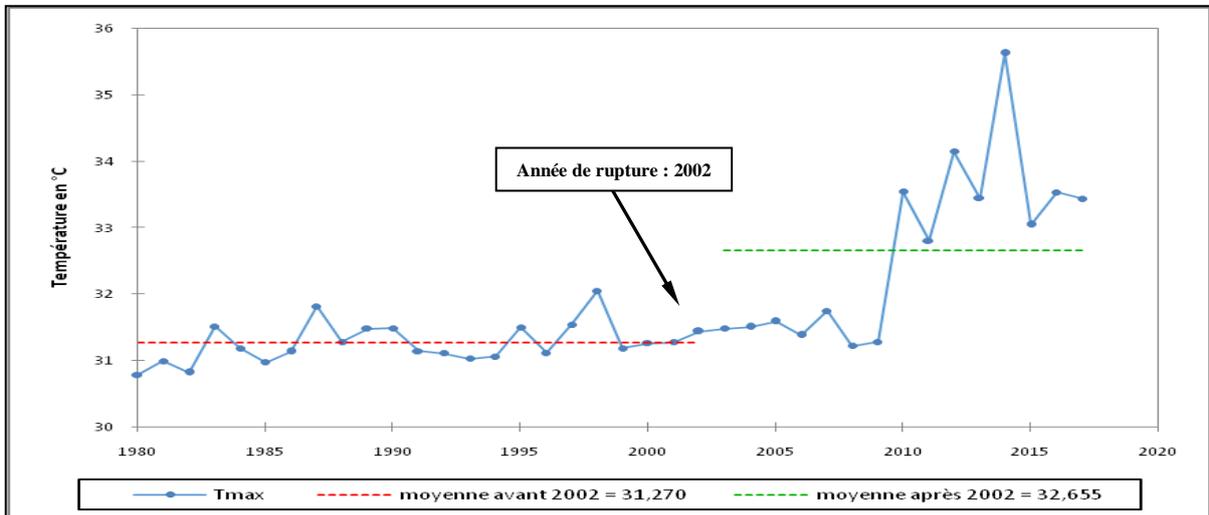
**Tableau 13 : variabilité des températures maximales dans la zone d'étude (1980-2017)**

Statistiques	Valeurs (°C)
Minimum	30,78
Maximum	35,63
Moyenne	31,82
Écart type	1,09
Percentile 20%	31,12
Percentile 50%	31,46
Percentile 80%	32,86



**Figure 18: évolution des températures maximales dans la zone d'étude.**

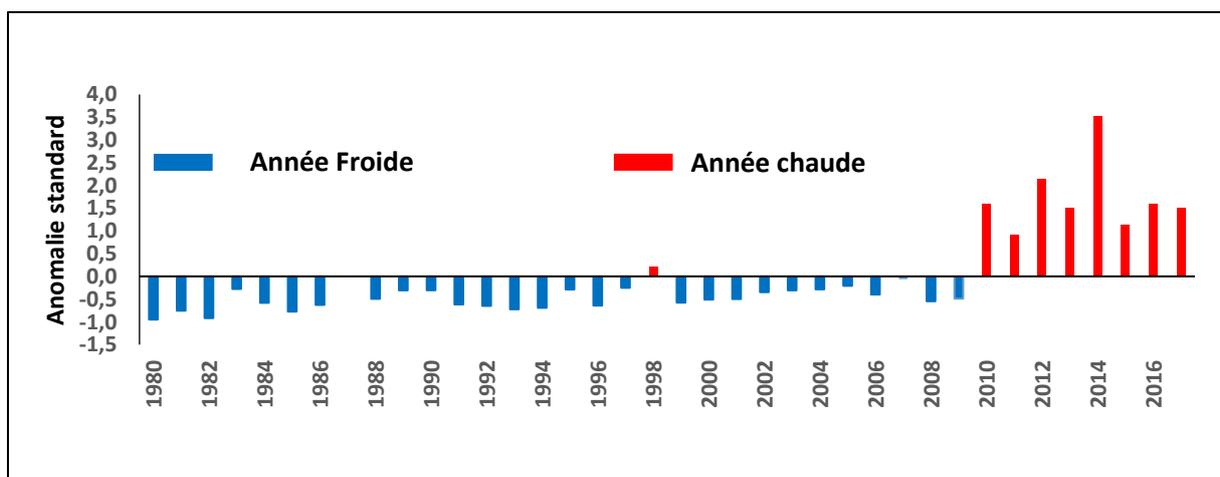
Le test de Pettitt dans la série des températures maximales de la zone d'étude y a détecté une rupture en 2002 (Figure 19). La moyenne avant la rupture (31,27°C) et celle après la rupture (32,65°C) sont différentes selon le test de Student avec un écart de 1,39°C et une augmentation de température de l'ordre de 4,43% par rapport à la moyenne d'avant la rupture.



**Figure 19: évolution des températures maximales dans la zone d'étude-test de rupture de Pettitt**

L'analyse des anomalies standards des températures maximales de la zone d'étude à partir de l'Indice de Lamb a montré deux grandes périodes (Figure 20) :

- 1980-2009 : une période froide caractérisée par des anomalies négatives des températures maximales ;
- 2010-2017 : une période chaude caractérisée par des anomalies positives des températures maximales.

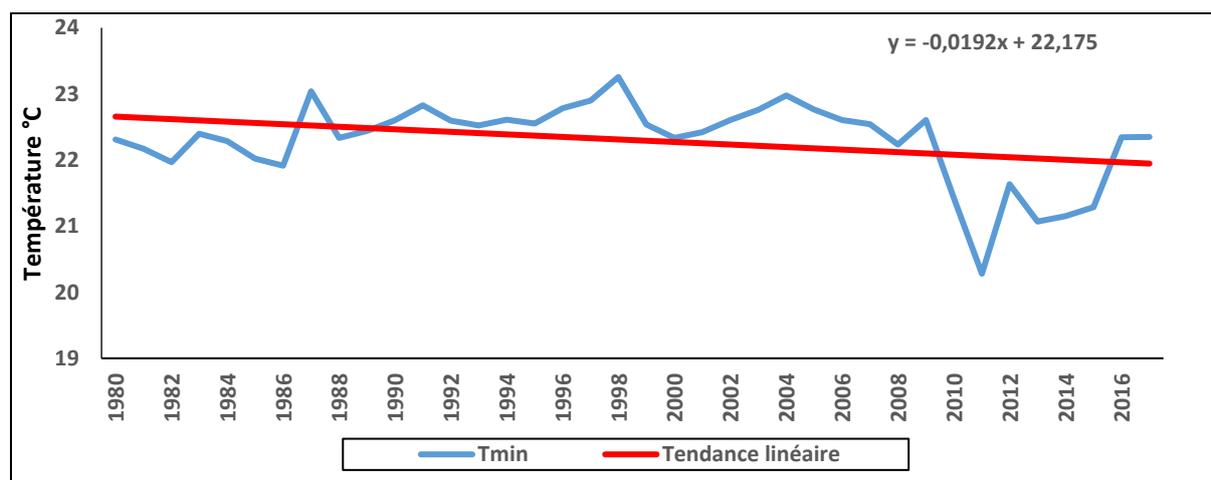


**Figure 20 : anomalies standards des températures maximales -Indice de Lamb**

Le tableau 14 présente la variabilité des températures minimums dans la zone d'étude. L'on note que les températures minimums sont comprises entre 19,78°C et 22,75°C avec une moyenne de 21,80°C. L'on note que dans 20% des années, les températures minimums sont inférieures à 21,45°C. Elles sont donc supérieures à 21,45°C dans 80% des années. L'analyse tendancielle des températures minimales de la zone d'étude révèle une baisse de celles-ci. La pente de la tendance est négative (-0,0192). Les températures minimales diminuent d'en moyenne 0,2°C par décennie (Figure 21).

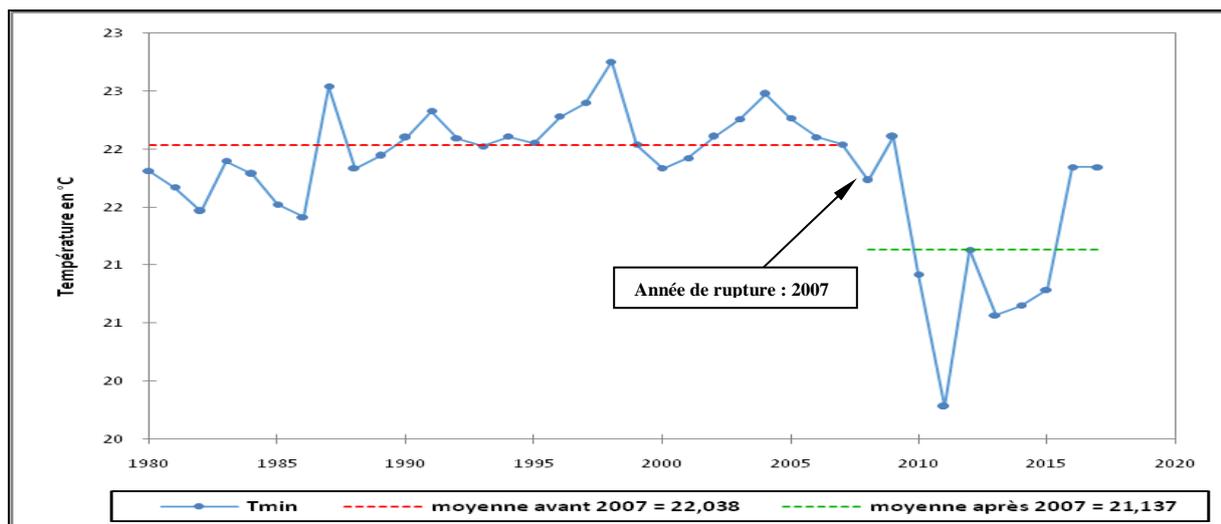
**Tableau 14 : variabilité des températures minimales dans la zone d'étude (1980-2017)**

Statistiques	Valeurs (°C)
Minimum	19,78
Maximun	22,75
Moyenne	21,80
Ecart type	0,60
Percentile 20%	21,45
Percentile 50%	21,93
Percentile 80%	22,26



**Figure 21 : évolution des températures minimales dans la zone d'étude.**

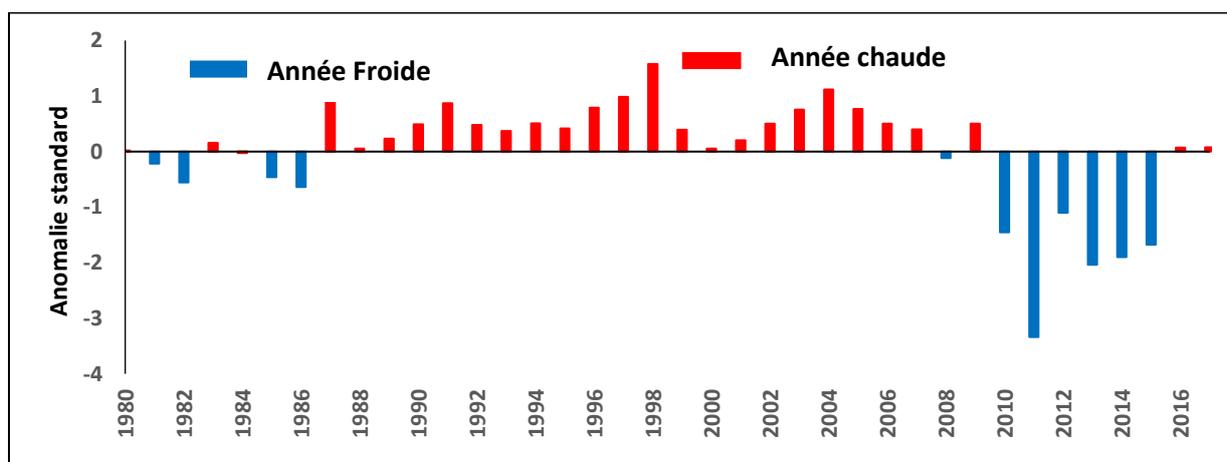
Le test de Pettitt dans la série des températures minimales de la zone d'étude y a décelé une rupture en 2007 (Figure 22). La moyenne avant la rupture (22,04°C) et celle après la rupture (21,14°C) étaient différentes selon le test de Student au seuil de 5% avec un écart de 0,90°C et une diminution de température de l'ordre de 4,08% par rapport à la moyenne d'avant la rupture.



**Figure 22 : évolution des températures minimales dans la zone d'étude-test de rupture de Pétitt**

L'analyse des anomalies standards à travers l'Indice de Lamb a montré quatre grandes périodes (Figure 23) :

- 1980-1986 : une période froide caractérisée par des anomalies négatives de température minimale ;
- 1987-2009 : une période chaude caractérisée par des anomalies positives de température minimale ;
- 2010-2015 : une période froide caractérisée par des anomalies négatives de température minimale ;
- 2016-2017 : une période chaude caractérisée par des anomalies positives de température minimale.

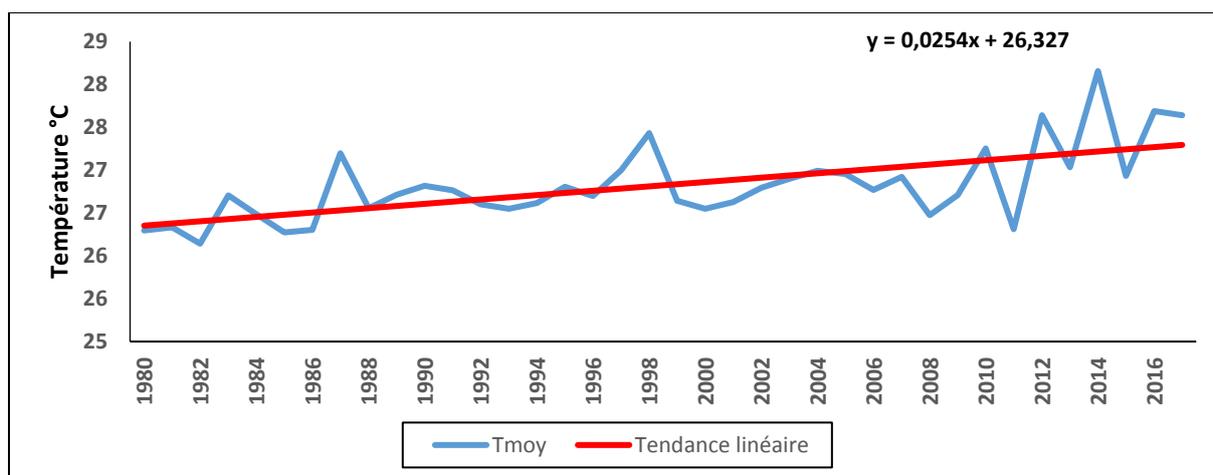


**Figure 23 : anomalies standards des températures minimales de la zone d'étude-Indice de Lamb**

Le tableau 15 donne la variabilité des températures moyennes dans la zone d'étude. Il indique que les températures moyennes étaient comprises entre 26,14°C et 28,16°C avec une moyenne de 26,82°C. Il est à noter que dans 80% des années, les températures moyennes sont inférieures à 27,07°C. L'analyse tendancielle des températures moyennes a révélé une hausse de celles-ci. La pente de la tendance est positive (0,025). Les températures moyennes augmentent d'environ 0,25°C par décennie (Figure 24).

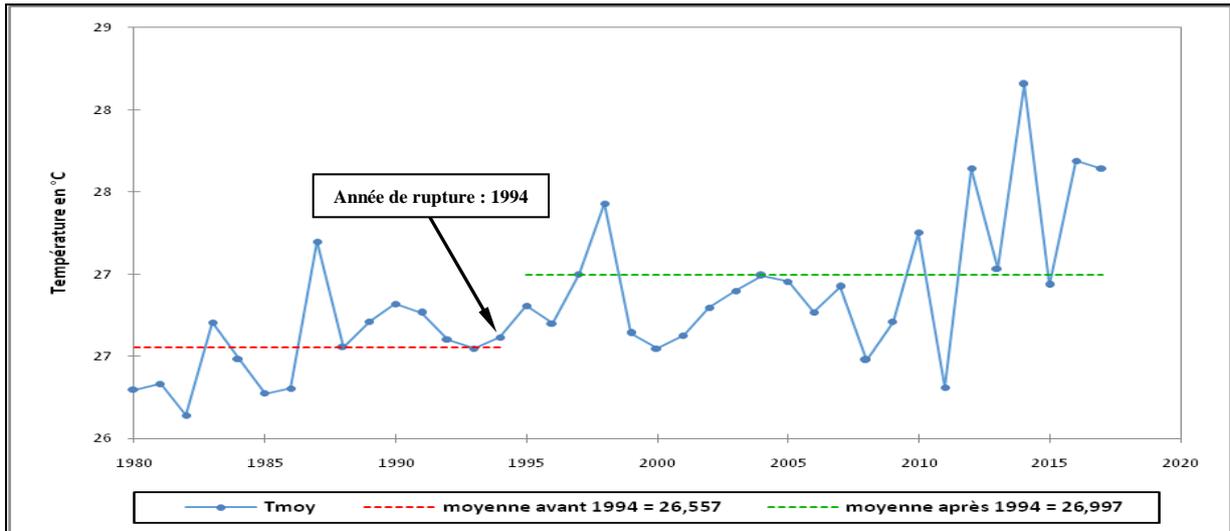
**Tableau 15 : variabilité des températures moyennes dans la zone d'étude (1980-2017)**

Statistiques	Valeurs (°C)
Minimum	26,14
Maximun	28,16
Moyenne	26,82
Ecart type	0,44
Percentile 20%	26,48
Percentile 50%	26,74
Percentile 80%	27,07



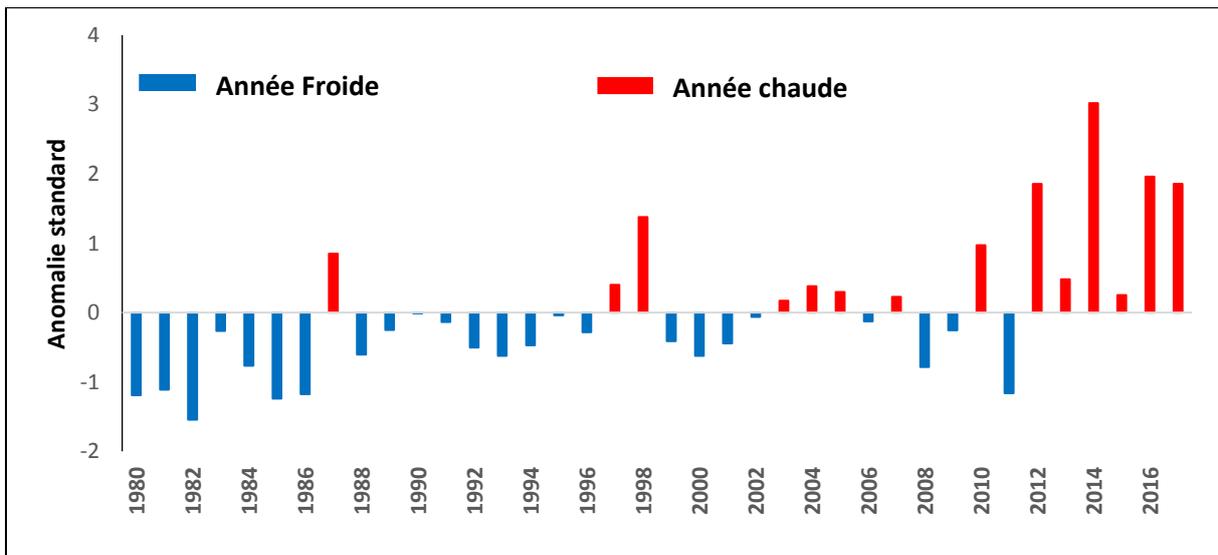
**Figure 24 : évolution des températures moyennes dans la zone d'étude**

Le test de Pettitt dans la série des températures moyennes y a détecté une rupture en 1994 (Figure 25). La moyenne avant la rupture (26,55°C) et celle après la rupture (26,99°C) étaient différentes selon le test de Student au seuil de 5% avec un écart de 0,44°C et une augmentation de température de l'ordre de 1,66% par rapport à la moyenne d'avant la rupture.



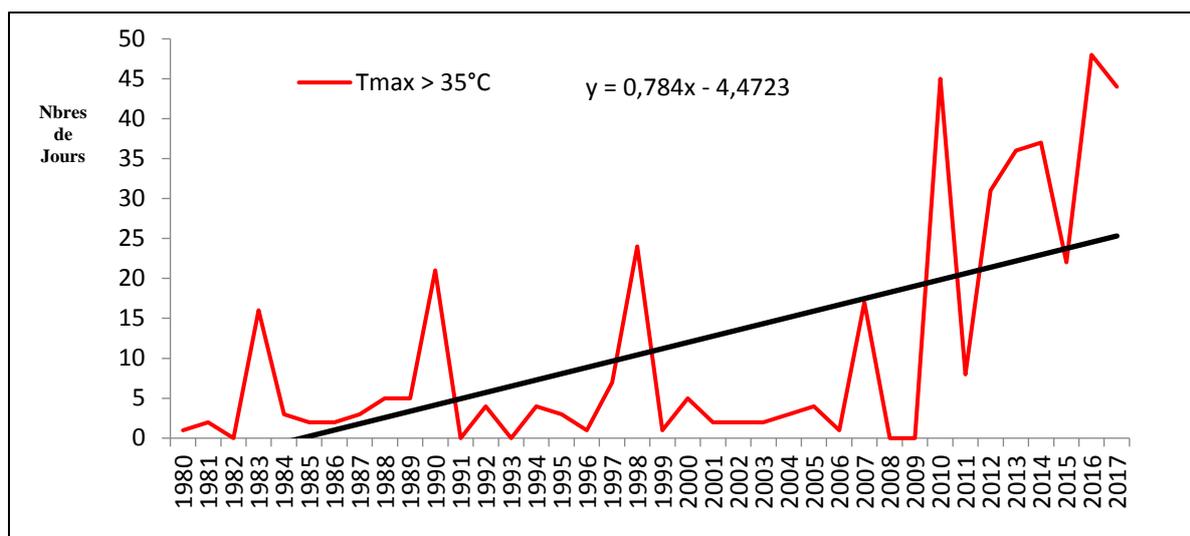
**Figure 25 : évolution des températures moyennes dans la zone d'étude-test de rupture de Pétitt**

L'analyse des anomalies standards à partir de l'Indice de Lamb a montré une alternance de périodes froides et de périodes chaudes (Figure 26)



**Figure 26 : anomalies standards des températures moyennes-Indice de Lamb**

L'analyse de l'évolution des extrêmes des températures maximales pendant la saison agricole (Mars-Novembre) a révélé une augmentation du nombre de jours durant lesquels les températures maximales ont dépassé le seuil de 35°C pendant la saison agricole (Figure 27). A partir de 2012, le nombre de jours, durant la saison agricole, où  $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$  a dépassé les 20 jours.



**Figure 27 : évolution du nombre de jours ou des Tmax > 35°C pendant la saison agricole (Mars-Novembre)**

Avec une probabilité de 80% de températures maximales inférieures aux seuils dommageables qui se situent entre 30° et 45°C et une probabilité de 80% de températures minimales supérieures aux seuils dommageables compris entre 7°C et 22°C, les températures ne constituent pas un risque majeur pour la culture du riz pluvial. Cependant, la hausse des températures maximales avec l'accroissement des extrêmes dépassant le seuil de 35°C constitue un risque climatique pour le riz pluvial dans la zone d'étude.

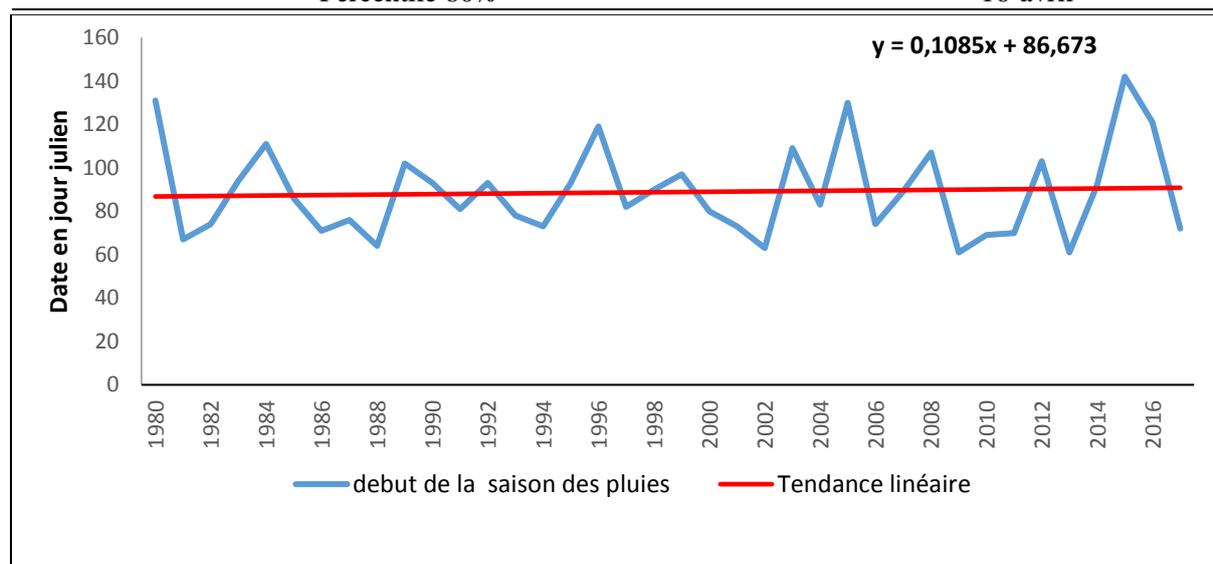
### **7.1.2. Analyse des dates de démarrage, de fin de la saison des pluies et de durée de la saison des pluies**

L'analyse a concerné les dates de démarrage et de fin de la saison des pluies, les dates de faux départs de la saison des pluies, les durées de la saison des pluies et la comparaison entre la durée de la saison des pluies et la durée du cycle du riz pluvial.

Le tableau 16 donne la variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies dans la zone d'étude. La date d'installation de la saison des pluies présentait une grande variabilité (coeff de variation = 23,5%). Les dates de démarrage oscillaient entre le 1<sup>er</sup> mars et le 21 mai avec comme moyenne la date du 29 mars. 80% des saisons démarraient après le 11 mars. L'analyse tendancielle des dates de démarrage de la saison des pluies a révélé des dates de démarrage de plus en plus tardives. La pente de la tendance est positive (0,1085). Le démarrage de la saison des pluies est retardé d'en moyenne un jour chaque décennie (Figure 28).

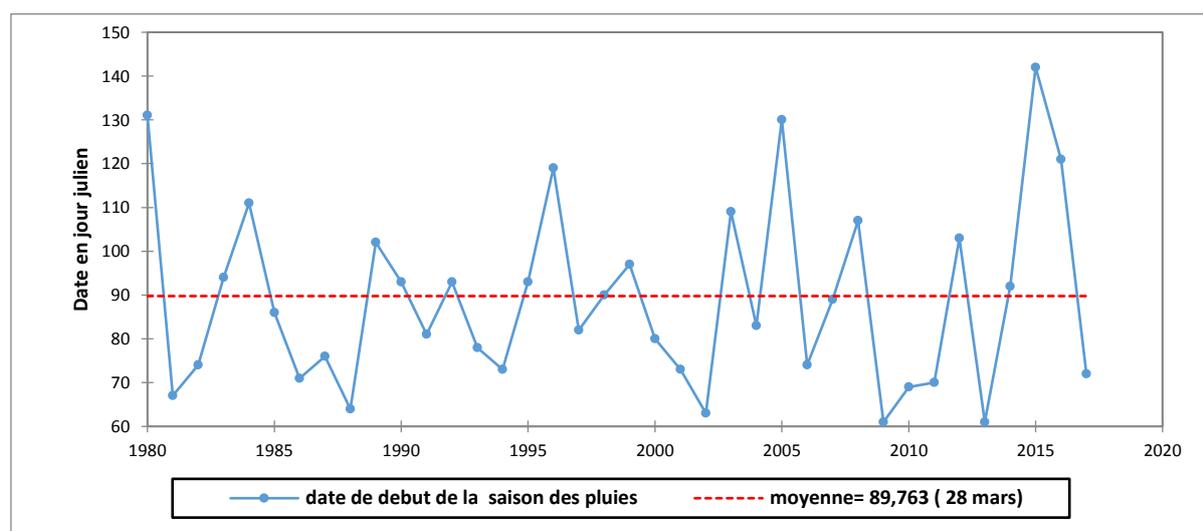
**Tableau 16 : variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies**

Statistiques	Valeurs
Minimum	1-mars
Maximun	21-mai
Moyenne	29-mars
Ecart type	21
Coeff de variation	23,5%
Percentile 20%	11-mars
Percentile 50%	24-mars
Percentile 80%	16-avril



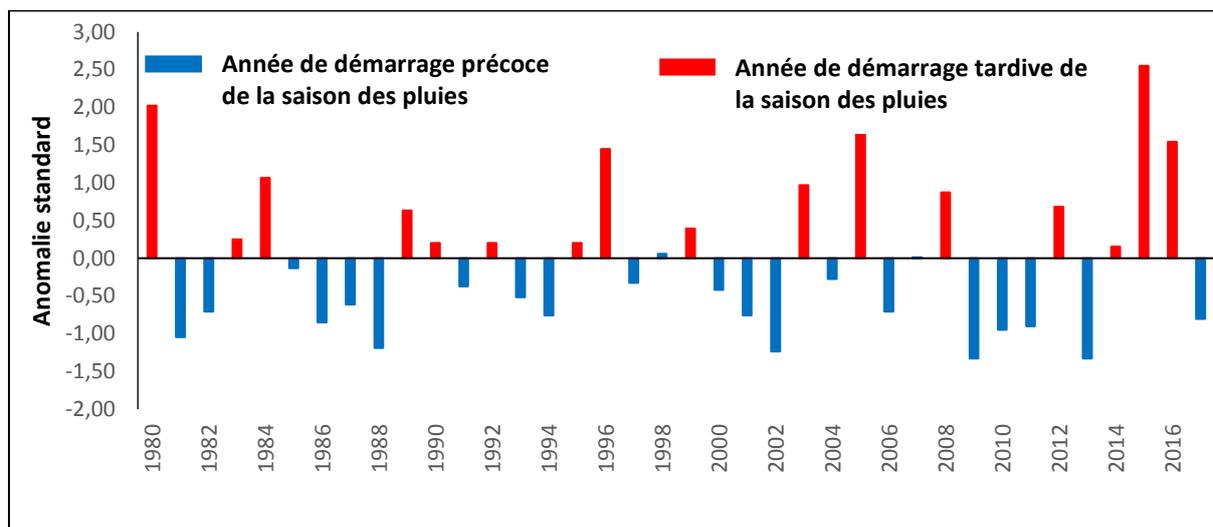
**Figure 28 : évolution des dates de début de la saison des pluies dans la zone d'étude**

Le test de Pettitt dans la série des dates de démarrage de la saison des pluies a montré qu'il n'existe aucune rupture dans cette série (Figure 29).



**Figure 29 : évolution des dates de début de la saison des pluies -Test de Pettitt**

L'analyse des anomalies standards à partir de l'Indice de Lamb a montré de fortes variabilités dans les dates de démarrage de la saison des pluies (Figure 30).



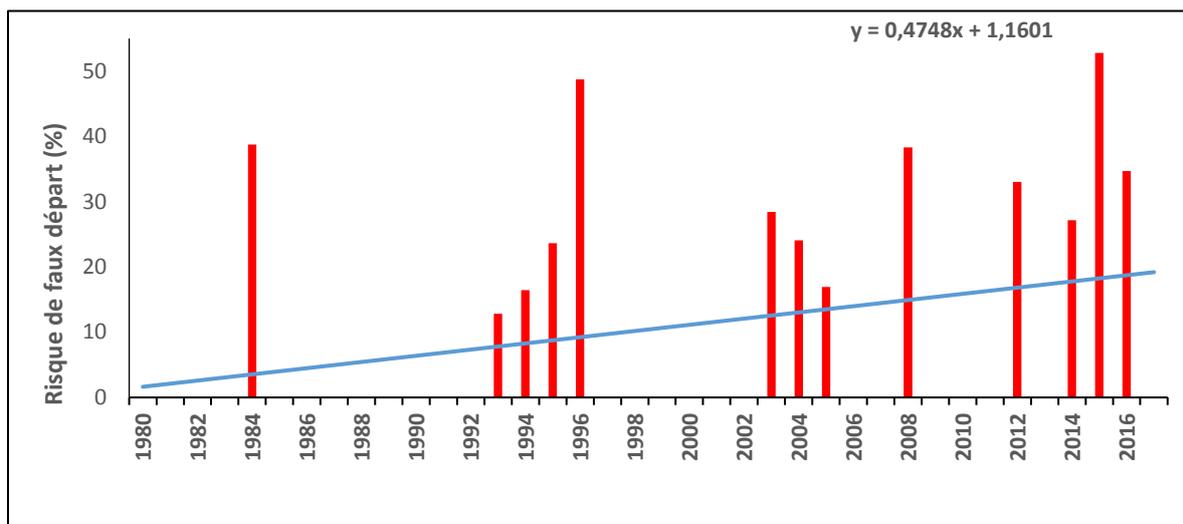
**Figure 30 : anomalies standards des dates de début de la saison des pluies-Indice de Lamb**

L'analyse des dates de faux départs (Tableau 17 et Figure 31) a montré que les faux départs ont été observés au mois de mars (92 % des faux départs) et d'avril (8% des faux départs).

Ces faux départs, survenus durant 13 années sur les 38 que compte la période d'étude, ont une probabilité d'occurrence de 34% avec des niveaux de risques annuels à tendance haussière, variant de 13 % à 53%. Le 1<sup>er</sup> mars était la date minimum de faux départ, le 17 avril la date maximum de faux départ et le 11 mars la date moyenne de faux départ.

**Tableau 17 : caractéristiques des faux départs**

Années de faux départ de la saison des pluies	Date de faux départ de la saison des pluies	Date de démarrage effectif de la saison des pluies	Écart (jours)	Risque de faux départ (%)
1984	8-mars	20-avril	43	39
1993	8-mars	18-mars	10	13
1994	1-mars	13-mars	12	16
1995	11-mars	2-avril	22	24
1996	1-mars	28-avril	58	49
2003	18-mars	18-avril	31	28
2004	3-mars	23-mars	20	24
2005	17-avr.	9-mai	22	17
2008	6-mars	16-avril	41	38
2012	9-mars	12-avril	34	33
2014	7-mars	1-avril	25	27
2015	7-mars	21-mai	75	53
2016	19-mars	30-avril	42	35

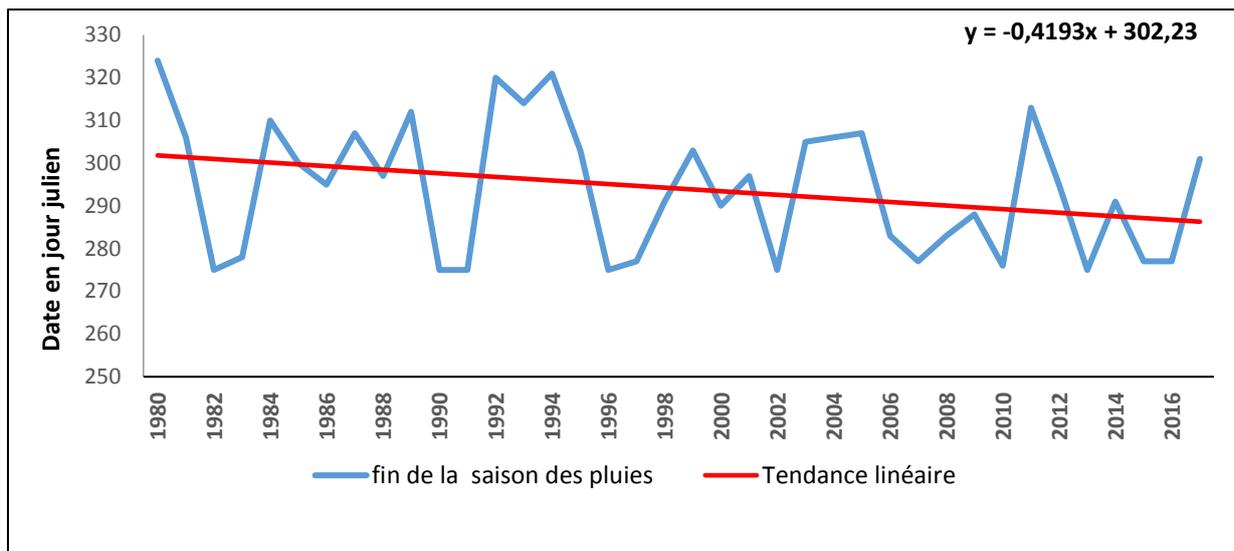


**Figure 31: niveaux de risques de faux départs au cours de la période 1980-2017**

Le tableau 18 donne la variabilité des dates de fin de la saison des pluies. La date de fin de la saison des pluies présentait une moins grande variabilité (coeff de variation = 5,3%) comparée à celle de début de la saison des pluies. Les dates de fin étaient comprises entre le 1<sup>er</sup> octobre et le 19 novembre avec comme moyenne la date du 20 octobre. 80% des saisons de pluies finissaient avant le 3 novembre. L'analyse tendancielle des dates de fin de la saison des pluies a révélé des dates de fin de plus en plus précoces de la saison des pluies comme le traduit la valeur négative de la pente de la tendance (-0,4193). La fin de la saison des pluies est avancée d'en moyenne quatre jours chaque décennie (Figure 32).

**Tableau 18 : variabilité des dates de fin de la saison des pluies dans la zone d'étude**

Statistiques	Valeurs
Minimum	1 octobre
Maximun	19 novembre
Moyenne	20 octobre
Ecart type	15,49
Coeff de variation	5,3%
Percentile 20%	3 octobre
Percentile 50%	21 octobre
Percentile 80%	3 novembre

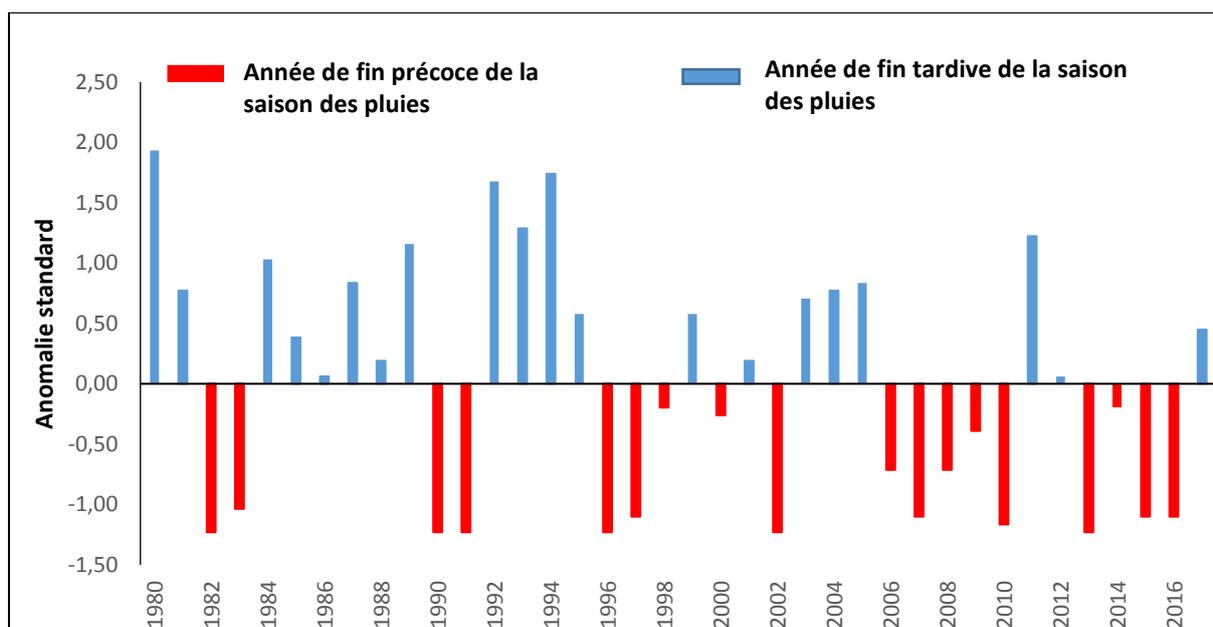


**Figure 32: évolution des dates de fin de la saison des pluies dans la zone d'étude**

Le test de Pettitt dans la série des dates de fin de la saison des pluies a montré qu'il n'existe aucune rupture dans cette série.

L'analyse des anomalies standards à partir de l'Indice de Lamb a révélé de fortes variabilités dans les dates de fin de la saison des pluies (Figure 33). Cependant deux grandes périodes se distinguaient :

- 1980-1995 : une période de fin tardive de la saison des pluies caractérisée par des anomalies positives de dates de fin ;
- 1996-2017 : une période de fin précoce de la saison des pluies caractérisée par des anomalies négatives de dates de fin

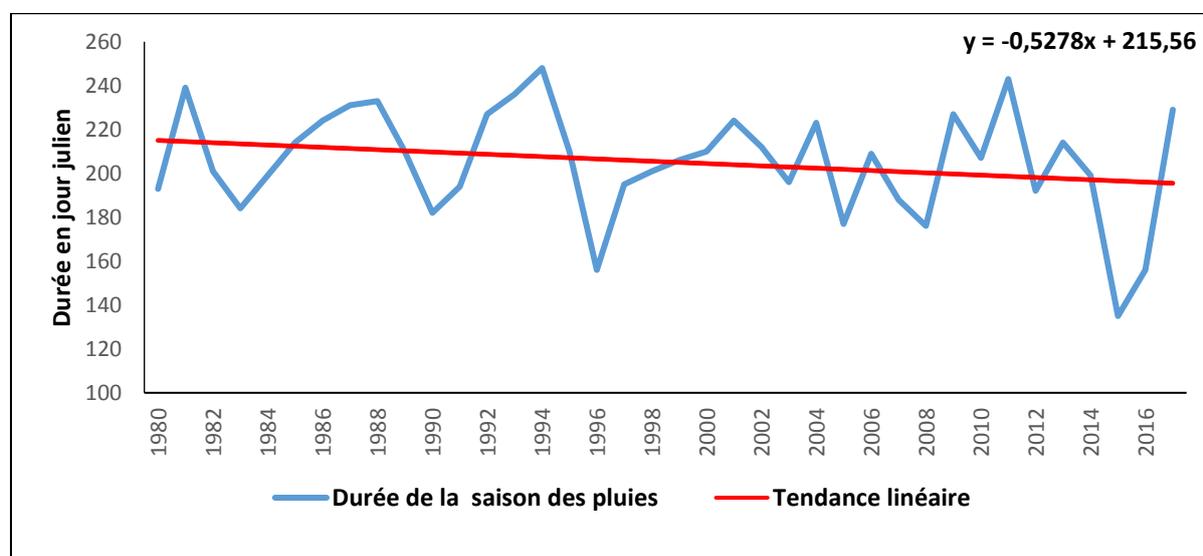


**Figure 33 : anomalies standards des dates de fin de la saison des pluies-Indice de Lamb**

Le tableau 19 donne la variabilité des durées de la saison des pluies dans la zone d'étude. La durée de la saison des pluies variait entre 135 jours et 248 jours avec comme moyenne 205 jours. Dans uniquement deux années sur dix (20%), la durée de la saison des pluies était inférieure à 187 jours. Donc dans plus de 80% des cas, la durée de la saison des pluies était supérieure à 187 jours. L'analyse tendancielle des durées de la saison des pluies a révélé un raccourcissement de celles-ci. La pente de la tendance est négative (-0,5278). La durée de la saison des pluies diminue d'en moyenne cinq jours chaque décennie (Figure 34).

**Tableau 19 : variabilité des durées de la saison des pluies dans la zone d'étude**

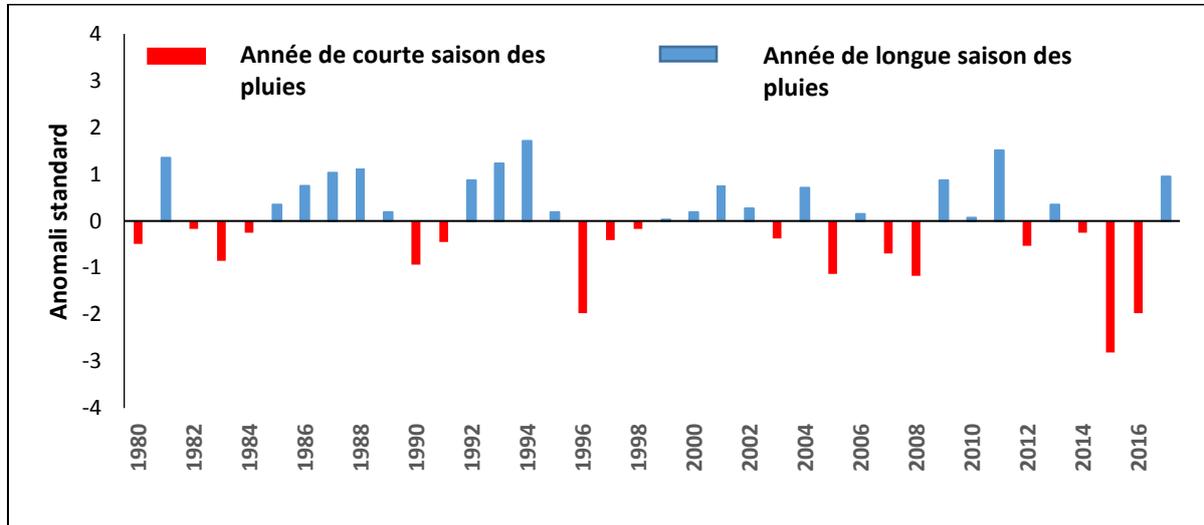
Statistiques	Valeurs (Jour)
Minimum	135
Maximum	248
Moyenne	205
Écart type	24,97
Coefficient de variation	12,2
Percentile 20%	187
Percentile 50%	208
Percentile 80%	227



**Figure 34 : évolution des durées de la saison des pluies dans la zone d'étude**

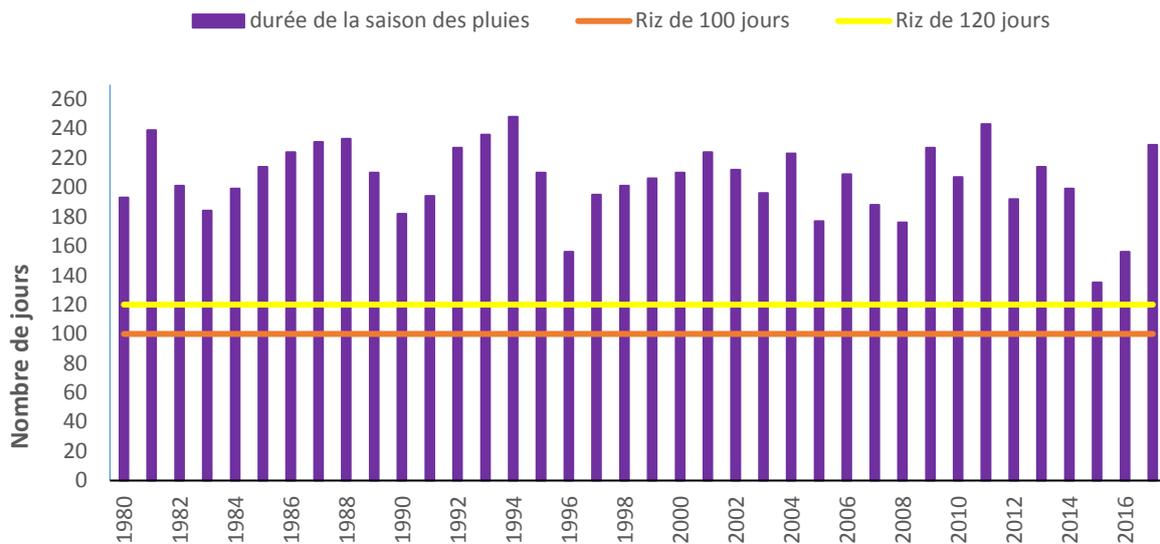
Le test de Pettitt dans la série des durées de la saison des pluies a révélé qu'il n'existait aucune rupture dans cette série. L'analyse des anomalies standards à partir de l'Indice de Lamb a montré de fortes variabilités dans les durées de la saison des pluies (Figure 35). Elle permettait tout de même de distinguer deux grandes périodes :

- 1980-1995 : une période de longues saisons des pluies dominée par des anomalies positives de dates de fin ;
- 1996-2017 : une période de courtes saisons des pluies dominée par des anomalies négatives de dates de fin.



**Figure 35 : anomalies standards des durées de la saison des pluies-Indice de Lamb**

L'analyse comparée de la durée de la saison des pluies et de la durée du cycle des variétés de riz pluvial, sur la période 1980-2017, a révélé que les durées de la saison des pluies demeuraient supérieures aussi bien à la durée du cycle du riz de 100 jours qu'à celle du riz de 120 jours (Figure 36).



**Figure 36 : comparaison entre la durée de la saison des pluies et celle du cycle du riz pluvial**

Dans la zone d'étude, avec une probabilité de 80%, les saisons des pluies démarraient après le 11 mars. Un démarrage tardif des saisons des pluies est observé dans la zone. Cela est confirmé par l'évolution de plus en plus tardive des dates de démarrage couplée à un nombre croissant et élevé de faux départs avec des risques pouvant atteindre 53%. Aussi, avec une probabilité de plus de 80%, les durées des saisons des pluies étaient supérieures aux durées du cycle du riz pluvial de 100 jours et de 120 jours. Par conséquent, la durée de la saison des pluies ne constitue pas un risque pour la culture du riz pluvial. Cependant, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage, les faux départs, le raccourcissement de la saison des pluies constituent des risques climatiques pour la culture du riz pluvial. Ces derniers exposent les paysans à un mauvais choix de date de semis et par conséquent, le riz à une sécheresse durant son cycle.

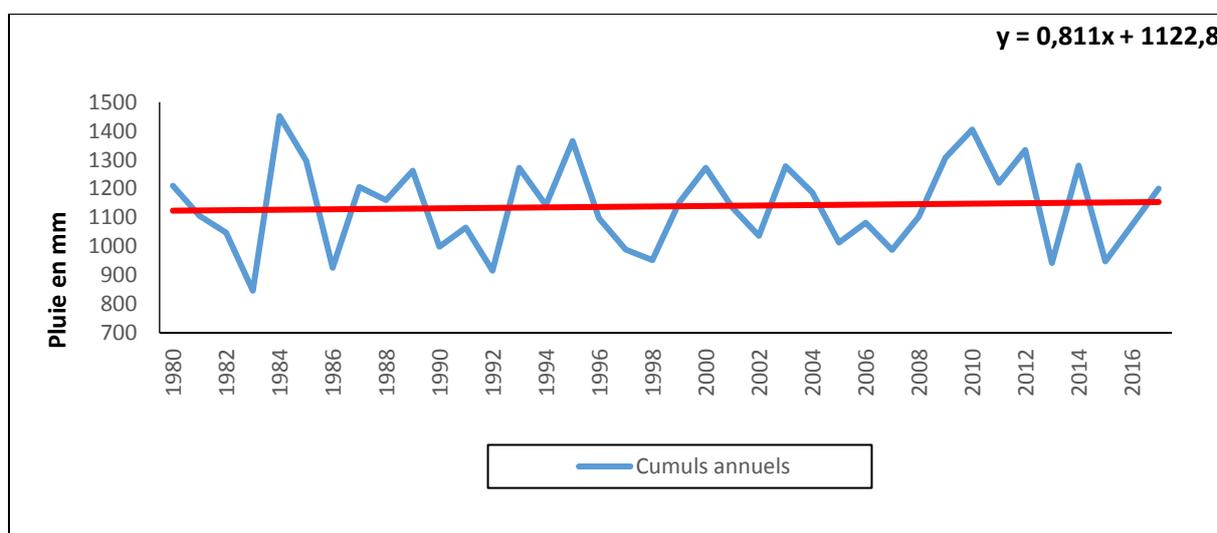
### 7.1.3. Analyse de la pluviométrie

L'analyse de la pluviométrie a porté sur les cumuls pluviométriques annuels, les cumuls pluviométriques saisonniers et la comparaison entre les cumuls pluviométriques et les besoins en eau totaux du riz pluvial.

Selon le tableau 20, les cumuls pluviométriques annuels étaient compris entre 846 mm et 1452 mm avec une moyenne de 1139 mm. Uniquement pour deux années sur dix (20%), le cumul pluviométrique était inférieur à 989 mm. Donc pour huit années sur dix (80%), les cumuls pluviométriques annuels étaient supérieurs à 989 mm. L'analyse tendancielle des cumuls pluviométriques annuels a révélé une hausse de ceux-ci (Figure 36). La pente de la tendance est positive (0,811). Le cumul pluviométrique annuel augmente d'en moyenne 8,11 mm par décennie (Figure 37).

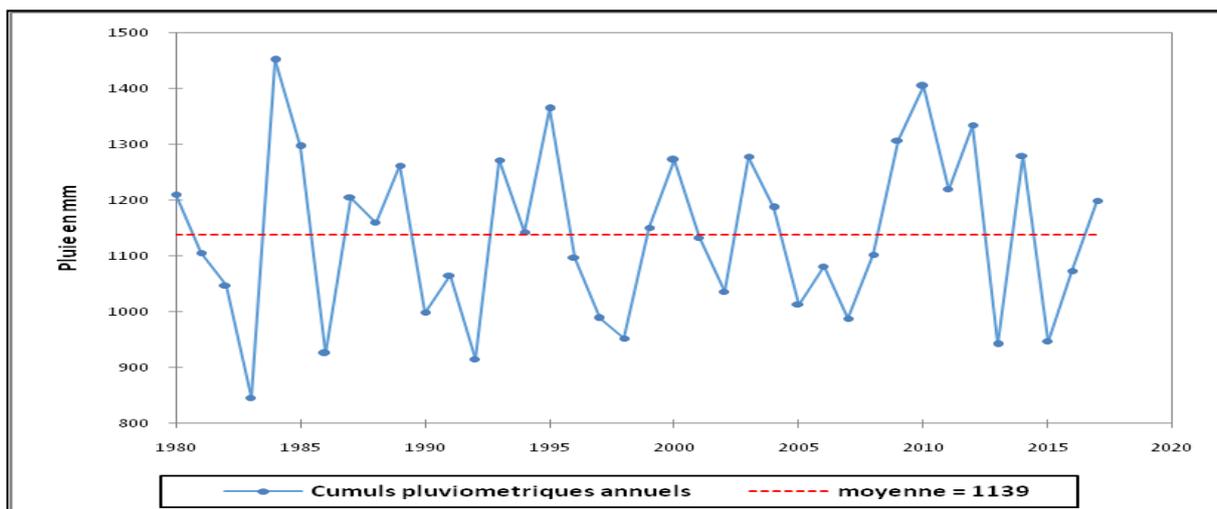
**Tableau 20 : variabilité des cumuls pluviométriques annuels**

Statistiques	Valeurs (mm)
Minimum	846
Maximun	1452
Moyenne	1139
Ecart type	149,92
Percentile 20%	989
Percentile 50%	1138
Percentile 80%	1278



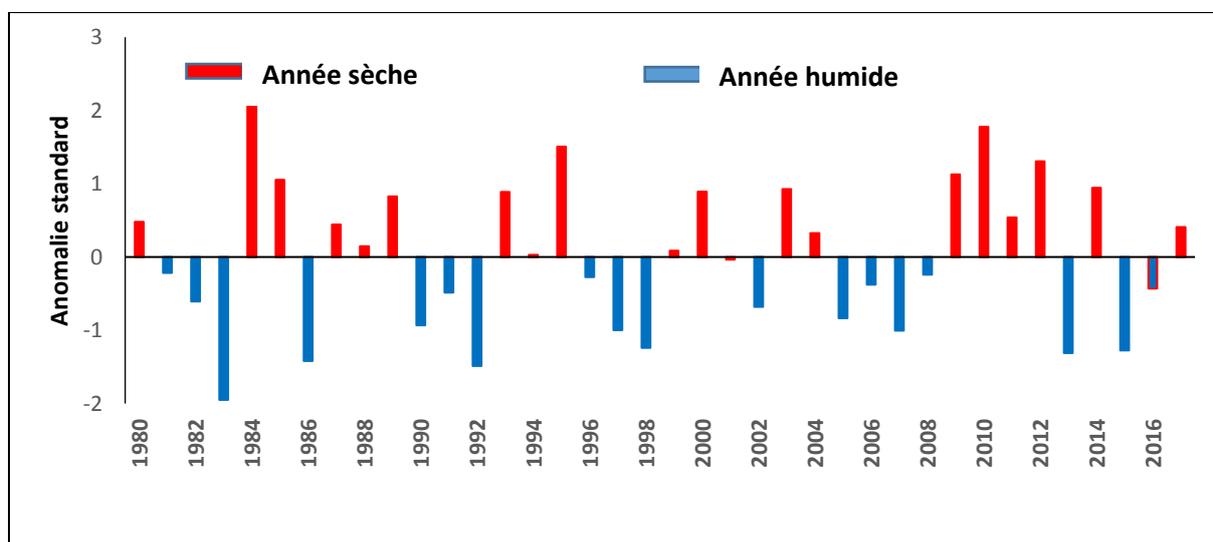
**Figure 37 : évolution des cumuls pluviométriques annuels dans la zone d'étude**

Le test de Pettit dans la série des cumuls pluviométriques annuels n'a révélé aucune rupture (Figure 38). Sur toute la période, le cumul pluviométrique annuel moyen était de 1139 mm.



**Figure 38 : évolution des cumuls pluviométriques annuels dans la zone d'étude-Test de Petit**

L'analyse des anomalies standards à travers l'Indice de Lamb a montré que les cumuls pluviométriques annuels présentaient de fortes variabilités. Les années humides et sèches s'alternaient (Figure 39). Cependant, une année de fort déficit, avec un indice de -1,95, caractéristique de la grande sécheresse de 1983 qui a secoué toute l'Afrique de l'ouest et singulièrement la Côte d'Ivoire, a été observé.



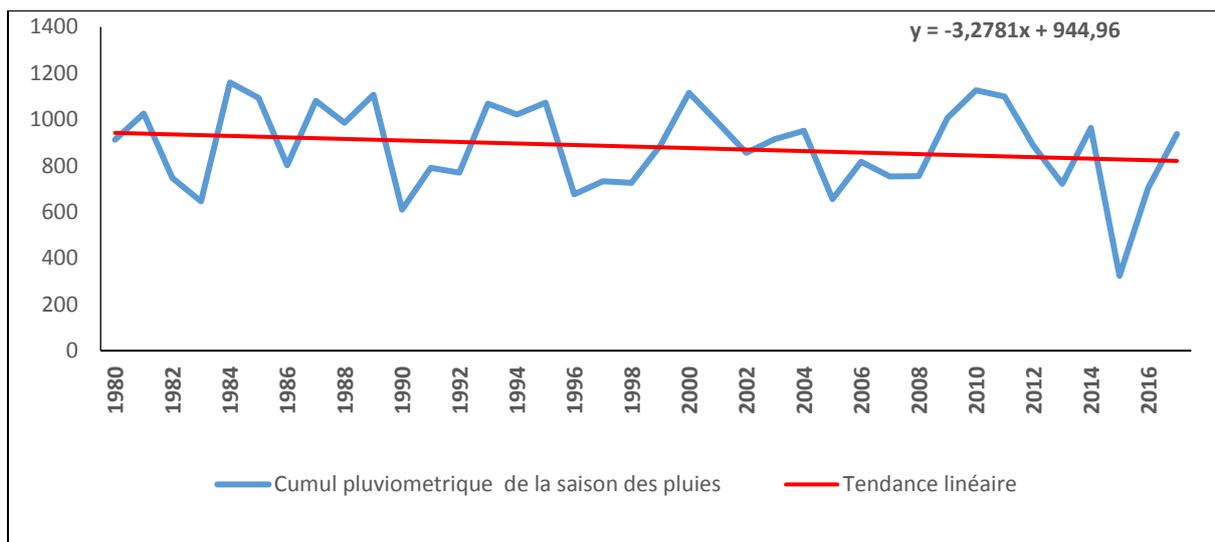
**Figure 39 : anomalies standards des cumuls pluviométriques annuels-Indice de Lamb**

A partir des dates de début et de fin de la saison des pluies, les durées des saisons des pluies ont été déterminées. Elles ont permis de déterminer les cumuls pluviométriques des saisons de pluie sur la période 1980-2017.

Le tableau 21 indique que les cumuls pluviométriques saisonniers étaient compris entre 324 et 1160 mm avec une moyenne de 881mm. Uniquement pour deux années sur dix (20%) le cumul pluviométrique était inférieur à 725 mm. Donc pour huit années sur dix (80%), les cumuls pluviométriques saisonniers étaient supérieures à 725 mm. L'analyse tendancielle des cumuls pluviométriques de la saison des pluies a révélé une baisse des cumuls pluviométriques saisonniers. La pente de la tendance est négative (-3,2781). Le cumul pluviométrique de la saison des pluies diminue d'en moyenne 32,7mm par décennie (Figure 40).

**Tableau 21 : variabilité des cumuls pluviométriques saisonniers**

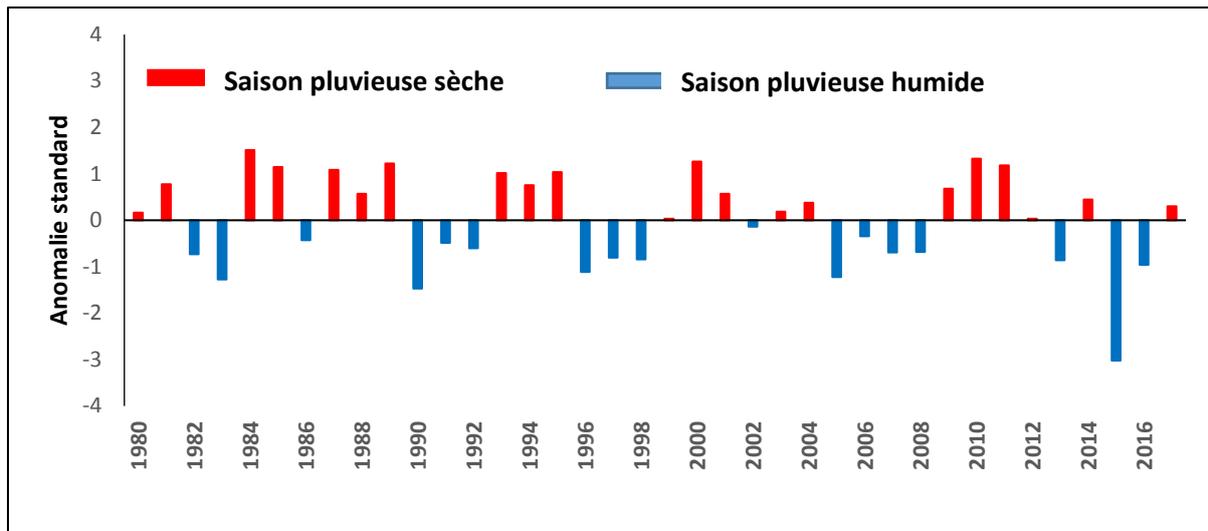
Statistiques	Valeurs (mm)
Minimum	324
Maximun	1160
Moyenne	881
Ecart type	184
Percentile 20%	725
Percentile 50%	900
Percentile 80%	1074



**Figure 40 : évolution des cumuls pluviométriques saisonniers dans la zone d'étude**

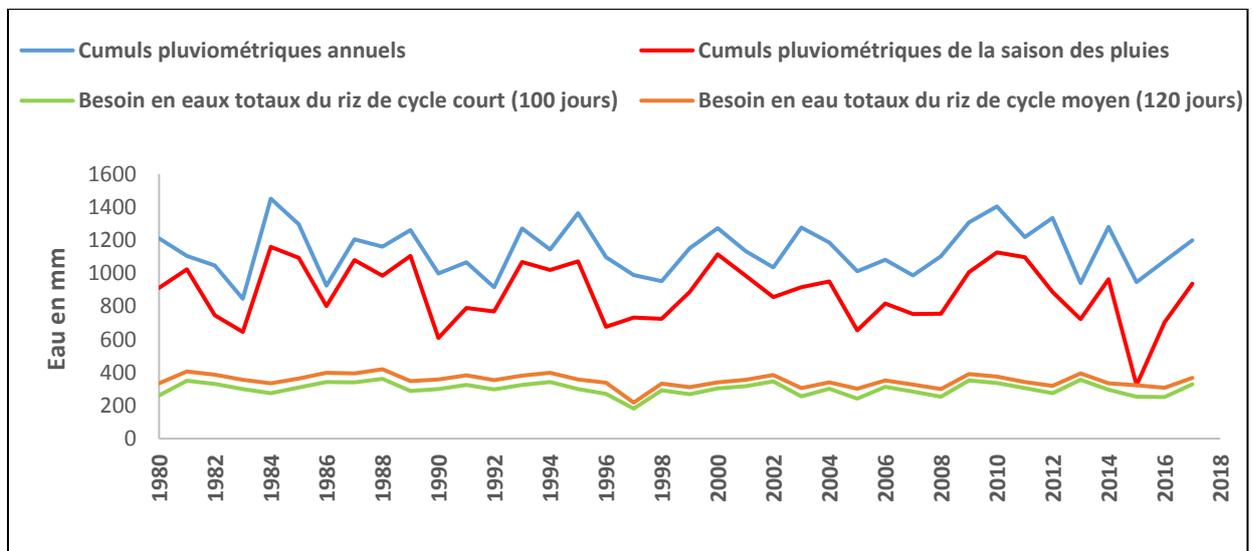
Le test de Pettitt dans la série des cumuls pluviométriques de la saison des pluies a montré qu'il n'existait aucune rupture dans la série.

L'analyse des anomalies standards au travers de l'Indice de Lamb a révélé une grande variabilité avec une alternance de périodes sèches et humides (Figure 41).



**Figure 41 : anomalies standards des cumuls pluviométriques de la saison des pluies-Indice de Lamb**

La comparaison entre le cumul pluviométrique de la saison des pluies et les besoins en eau totaux du riz pluvial, semé au démarrage de la saison, a montré que pratiquement 100 % des cumuls pluviométriques de la saison des pluies couvraient les besoins en eaux totaux du riz aussi bien de cycle court (pour un besoin moyen de 301mm) que de cycle moyen (pour un besoin moyen de 351mm). C'était le même constat pour les cumuls pluviométriques annuels qui étaient largement supérieurs aux besoins en eaux totaux du riz de cycle court comme de cycle moyen (Figure 42).



**Figure 42 : comparaison des cumuls pluviométriques annuels et saisonniers avec les besoins en eau totaux du riz pluvial**

Dans la zone d'étude, avec une probabilité de plus de 80%, les cumuls pluviométriques annuels et saisonniers étaient nettement supérieurs aux besoins en eau totaux du riz pluvial de 100 jours et de 120 jours. Ces cumuls pluviométriques ne constituent pas de risques pour la culture du riz pluvial. Cependant, la baisse de ces cumuls dans le temps constitue un risque pour la culture du riz pluvial.

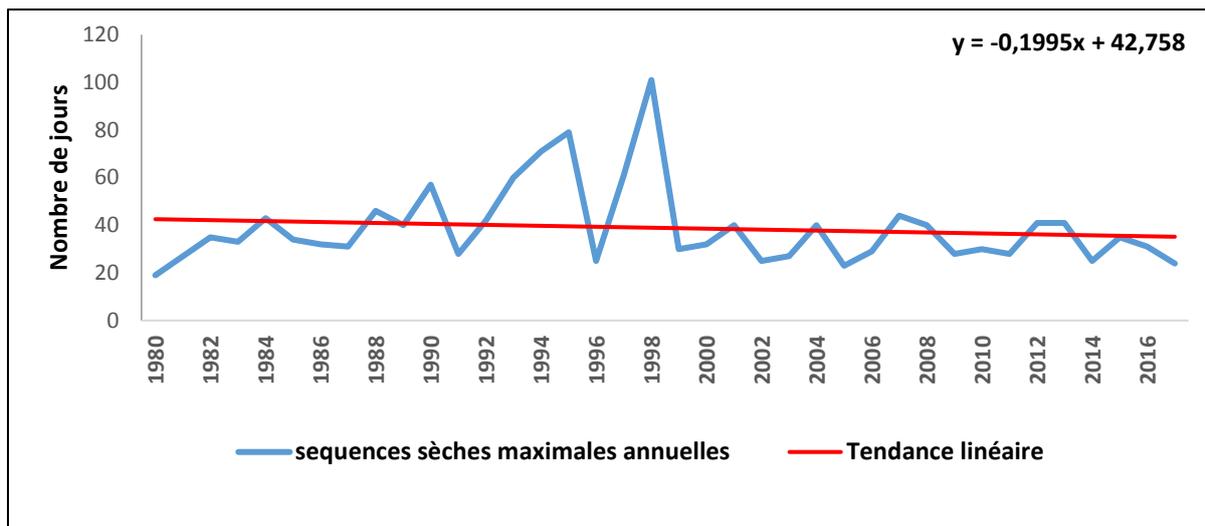
#### 7.1.4. Analyse des séquences sèches

L'analyse des séquences sèches a porté sur les séquences sèches maximales annuelles, les séquences sèches maximales mensuelles, l'occurrence des séquences sèches supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours, 30 jours après le semis et l'occurrence des séquences sèches supérieures à 5 et 7 durant la floraison.

La variabilité des séquences sèches maximales annuelles durant la période 1980-2017 est donnée par le tableau 22. Les séquences sèches maximales étaient comprises entre 19 jours et 101 jours avec une moyenne de 39. Uniquement deux années sur dix les séquences sèches maximales étaient inférieures à 27 jours. Donc pour plus de 80% des années, les séquences sèches maximales étaient supérieures à 27 jours. L'analyse tendancielle des séquences sèches maximales annuelles a révélé une diminution du nombre maximal de jours consécutivement secs chaque année. La pente de la tendance est négative (-0,1995). Le nombre maximal de jours consécutivement secs durant une année diminue d'en moyenne 1,9 jours chaque décennie.

**Tableau 22 : variabilité des séquences sèches maximales dans la zone d'étude**

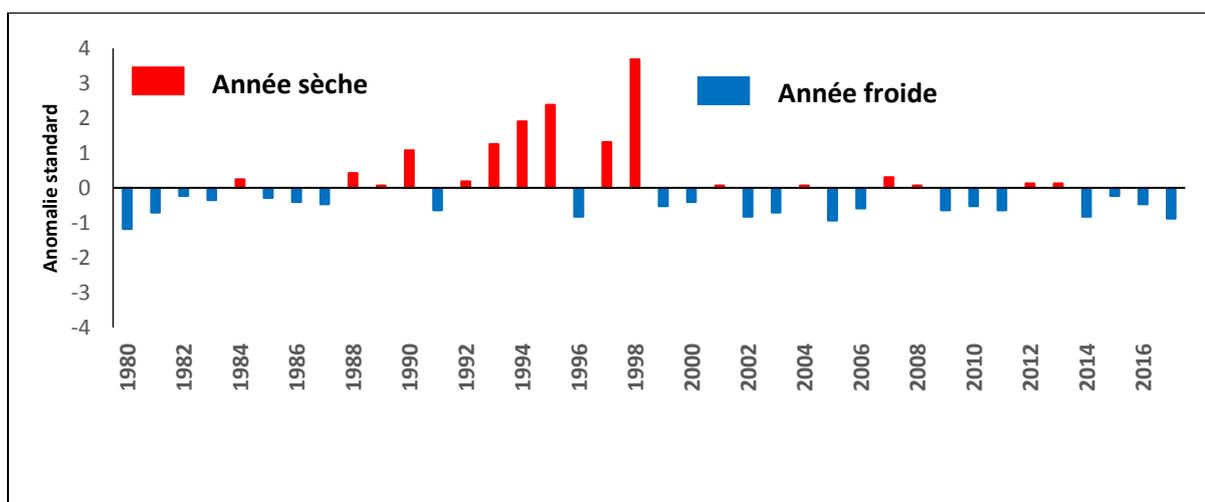
<b>Statistiques</b>	<b>Valeurs (Jours)</b>
Minimum	19
Maximun	101
Moyenne	39
Ecart type	17
Percentile 20%	27
Percentile 50%	34
Percentile 80%	44



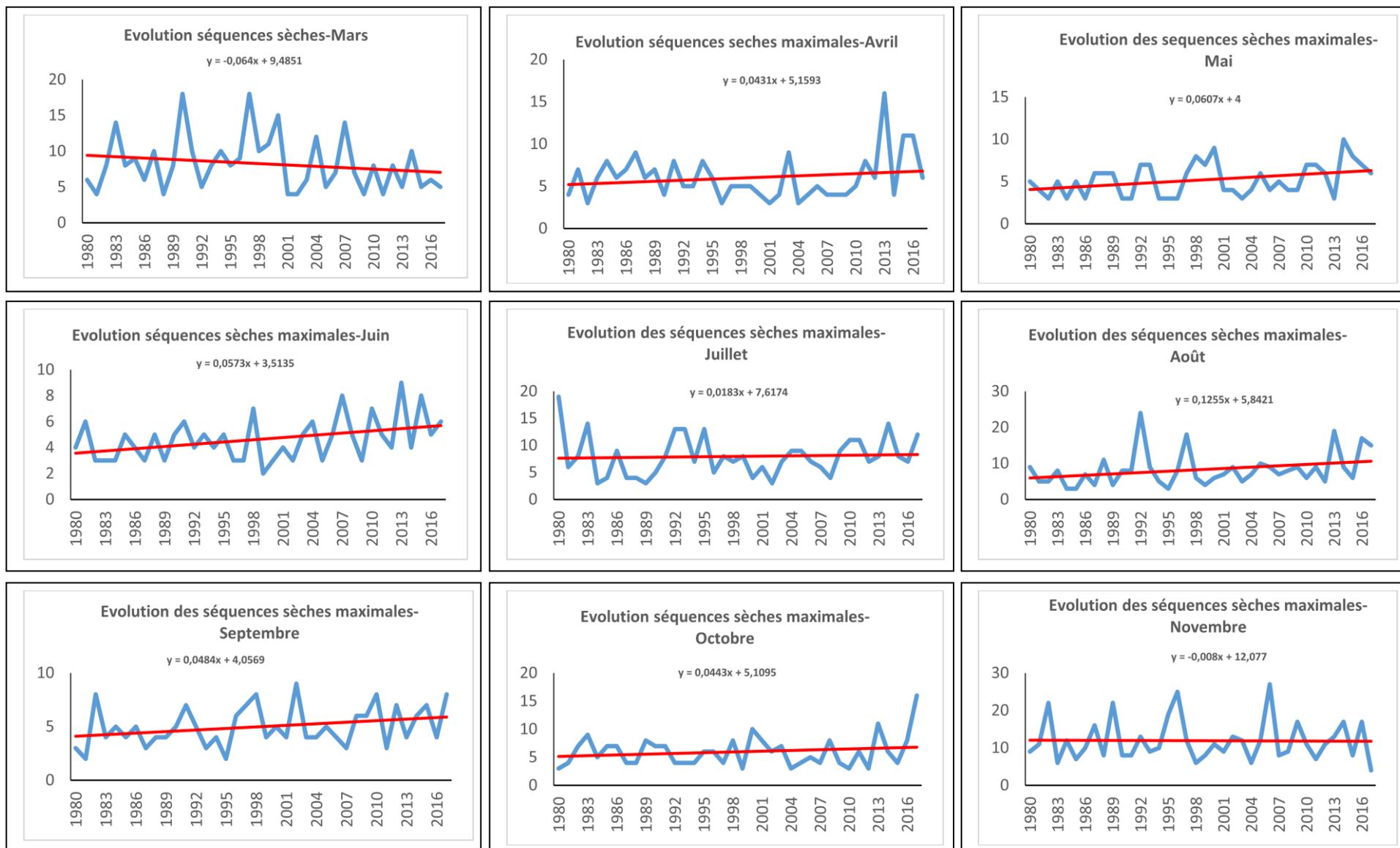
**Figure 43 : Évolution des séquences sèches maximales annuelles dans la zone d'étude**

Le test de Pettitt dans la série des séquences sèches annuelles a montré qu'il n'existait aucune rupture dans cette série. L'analyse des anomalies standards à travers l'Indice de Lamb a révélé globalement trois grandes périodes :

- 1980-1987 : une période froide dominée par des anomalies négatives de séquences sèches maximales ;
- 1988-1998 : une période chaude dominée par des anomalies positive de séquences sèches maximales ;
- 1999-2017 : une période froide dominée par des anomalies négatives de séquences sèches maximales.



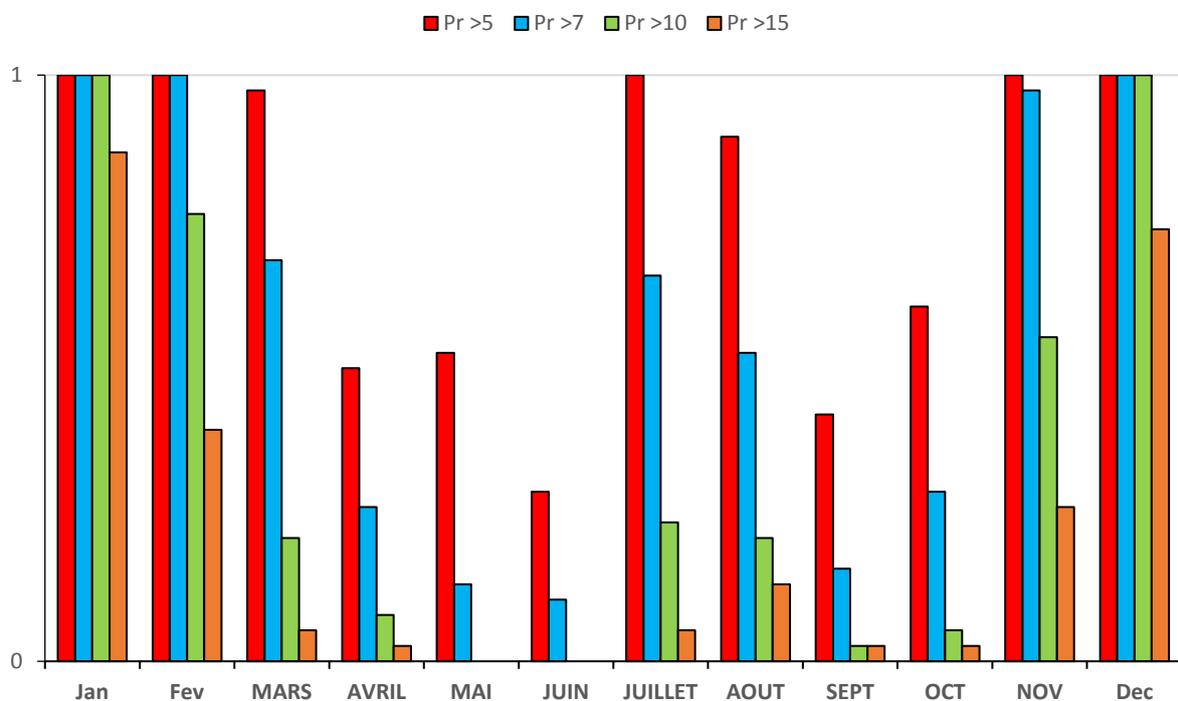
**Figure 44: anomalies standards des séquences sèches maximales annuelles-Indice de Lamb**



**Figure 45: évolution des séquences sèches maximales mensuelles (Mars-Novembre)**

Durant la saison des pluies (Mars-Novembre), en dehors des mois de mars et de novembre, une tendance haussière du nombre maximal de jours consécutivement secs pour tous les autres mois de la saison a été observée (Figure 45). Ceci est particulièrement vrai pour les mois les plus pluvieux de mai et de juin qui connaissent une hausse des séquences sèches les plus longues. Globalement, un accroissement du nombre maximal de jours consécutivement secs durant la saison des pluies a été constaté. Cette sécheresse saisonnière constitue un risque pour le riz pluvial.

Les risques d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours ont été analysés sur toute l'année pour la période 1980-2017 (Figure 46).



**Figure 46: Probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, 7, 10 et 15 jours pour la période 1980-2017 dans la zone d'étude**

Durant la saison sèche (Décembre-Février), les risques de séquences sèches étaient très élevés. Ils sont de 100% pour les séquences sèches supérieures à cinq et sept jours pour les mois de décembre, janvier et février. Les risques pour les séquences sèches supérieures à dix jours étaient de 100% aux mois de décembre et janvier tandis qu'ils étaient de 76% en février. Les risques de séquences sèches supérieures à 15 jours étaient de 74% pour le mois de décembre, 87% pour le mois de janvier et 39% pour le mois de février.

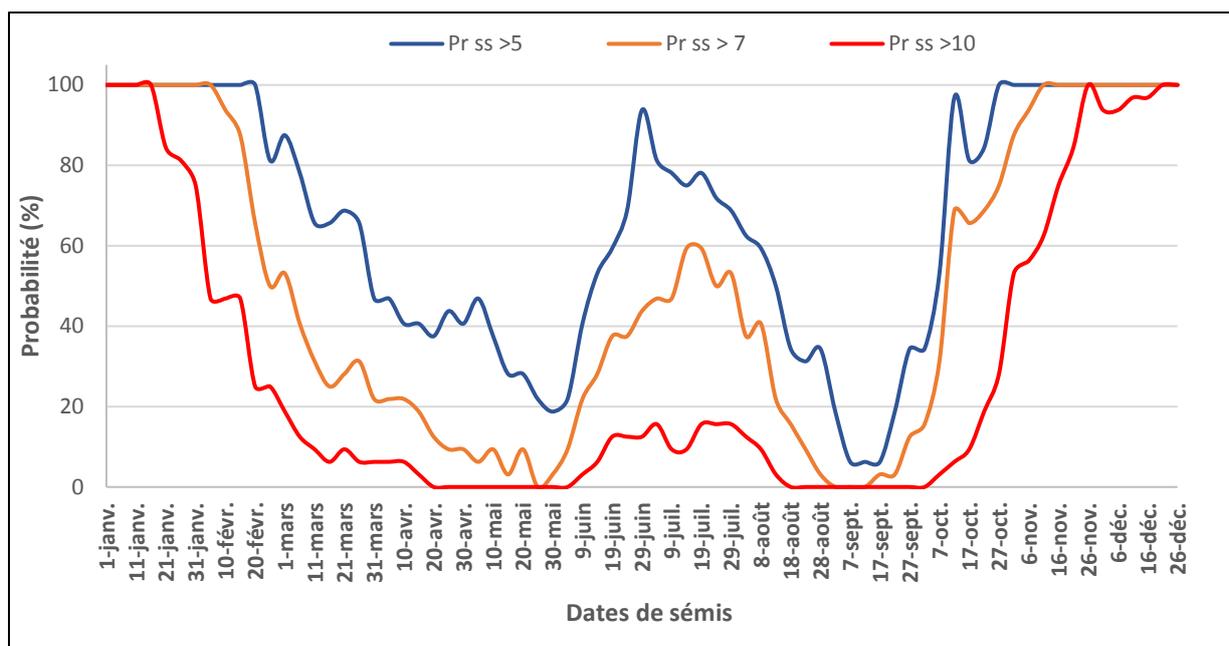
Durant la saison des pluies (Mars-novembre), les séquences sèches supérieures à cinq et sept jours étaient les plus fréquentes. Elles représentaient respectivement 66% et 41% contre 19% et 10% pour les plus longues (supérieures à 10 et 15 jours). Pour ces séquences sèches supérieures à à cinq et sept jours, les probabilités d'occurrence variaient entre 10% et 90% et atteignaient parfois 100% en juillet et novembre.

Pour les séquences sèches les plus longues (supérieures à 10 et 15 jours), elles ont été enregistrées surtout en mars, juillet et novembre avec des probabilités d'occurrence allant de 20 à 76 %. Les mois de mars, juillet, août et novembre ont été les plus confrontés à l'apparition de séquences sèches avec des probabilités d'occurrence qui se situaient entre 30% et 80 %.

Dans la zone d'étude, les probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à cinq jours, 30 jours après le semis, restaient élevés (supérieures à 80%) entre mi-octobre et début mars (Figure 47). A partir de début mars, elles décroissaient rapidement jusqu'à fin mai mais restaient toutefois supérieures à 20%. Elles croissaient rapidement de fin mai à fin juin pour atteindre la valeur maximum de 100%. Puis elles décroissaient de fin juin à mi-septembre où elles atteignaient le minimum relatif de 7%. Elles connaissaient enfin une croissance rapide de mi-septembre à mi-octobre.

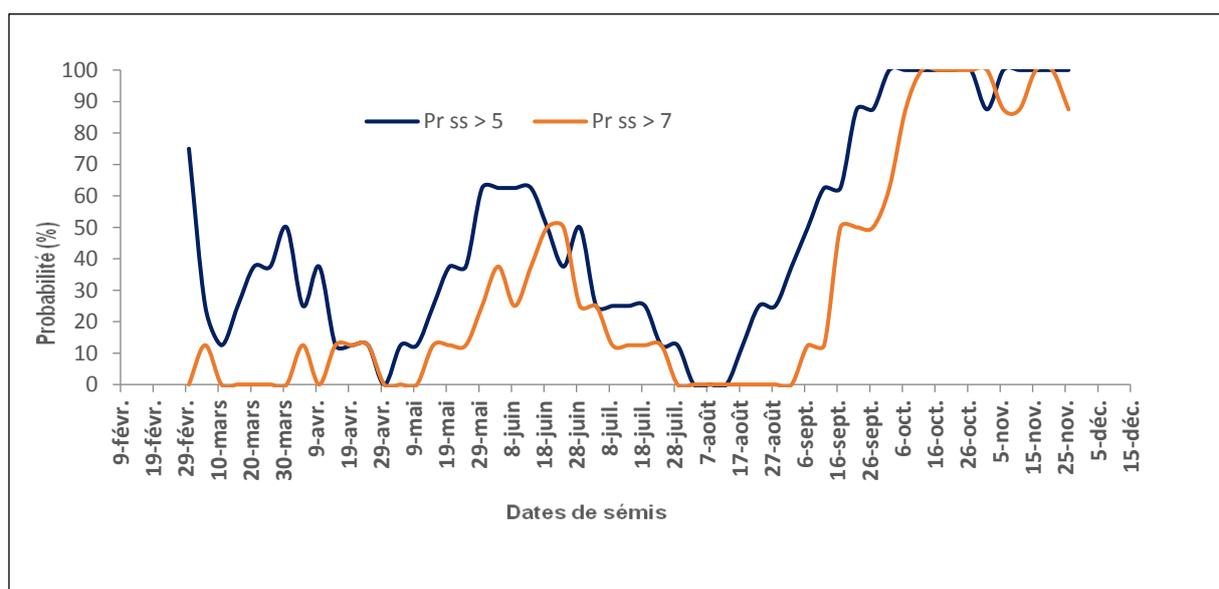
Les probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à sept jours restaient élevées (supérieure à 80%) entre début novembre et mi-février (Figure 47). Elles décroissaient rapidement de mi-février à fin-mai où elles atteignaient 3%. Elles croissaient rapidement de fin-mai à mi-juillet où elles atteignaient 66% puis décroissaient de mi-juillet à mi-septembre où elles atteignaient le minimum de 0%. Elles croissaient enfin de mi-septembre à mi-novembre.

Les probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à dix jours restaient élevées (supérieure à 80%) entre fin novembre et fin janvier (Figure 47). Elles décroissaient de fin janvier à fin avril ou elles s'annulaient. Elles croissaient début juin à fin juillet avant de décroître pour s'annuler mi-août et croître à nouveau de début octobre à fin novembre.



**Figure 47: évolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5, à 7 et 10 jours, 30 jours après le semis du riz pluvial (période 1980-2017)**

Les risques d'occurrence de séquences sèches supérieures à cinq jours pendant la floraison du riz étaient relativement élevés (>20%) entre fin-août et mi-avril. Elles devenaient faibles de mi-avril à mi-mai et redevenaient élevées entre mi-mai et fin juillet avant de redevenir faibles entre fin-juillet et mi-août. Quant aux risques d'occurrence des séquences sèches supérieures à sept jours, elles étaient élevées de mi-septembre à fin février, puis faibles de fin février à fin mai, élevées à nouveau de fin mai à début juillet et faible entre début juillet et mi-septembre (Figure 48).



**Figure 48 : évolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à 5 et 7 jours durant la floraison du riz pluvial de 100 jours (période 1980-2017)**

Dans la zone d'étude, les séquences sèches maximales annuelles, avec une moyenne de 39 jours, étaient élevées. De plus, leurs risques d'occurrence, qui étaient de plus de 80% pour les séquences sèches supérieures à 27 jours, étaient également élevés. Cependant, il a été observé, dans le temps, une diminution du nombre maximal de jours consécutivement secs durant une année. Aussi, il a été relevé un accroissement du nombre maximal de jours consécutivement secs durant la saison des pluies notamment durant les mois les plus pluvieux.

Pour les séquences sèches supérieures à cinq, sept, dix et 15 jours, leurs risques d'occurrence, comprises entre 39% et 100%, étaient élevés durant la saison sèche. Durant la saison des pluies, ce sont les séquences sèches supérieures à cinq et sept jours qui étaient les plus nombreuses avec des risques qui étaient compris entre 10 et 100%. Les séquences sèches supérieures à dix et 15 jours, moins nombreuses, ont des risques compris entre 20 et 76%.

Concernant les risques liés au semis, il a été observé que les séquences sèches supérieures à cinq jours, 30 jours après le semis, avaient des risques d'occurrence relativement élevés (supérieure à 20%) sur toute la période exceptés entre fin août et fin septembre. Pour les séquences supérieures à sept jours, 30 jours après le semis, les risques d'occurrence étaient relativement élevés (supérieure à 20%) entre fin septembre et mi-avril et entre début juin et mi-août. Pour les séquences sèches supérieures à dix jours, 30 jours après le semis, les risques d'occurrence restent relativement élevés (supérieures à 20%) entre fin octobre et début mars.

Pour les risques liés à la floraison, les risques d'occurrence de séquences sèches supérieures à cinq jours pendant la floraison du riz de 100 jours étaient relativement élevés (supérieures à 20%) entre fin-août et mi-avril et entre mi-mai et fin juillet tandis que les risques d'occurrence des séquences sèches supérieures à sept jours quant à elle étaient élevés à la floraison entre elles mi-septembre à fin février et entre fin mai à début juillet.

Avec des probabilités d'occurrence variables au cours du cycle du riz pluvial, notamment au cours de la levée et de la floraison, les séquences sèches, particulièrement les sécheresses saisonnières, constituent un risque climatique majeur pour la culture riz pluvial.

#### **7.1.5. Analyse de l'Indice de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial suivant les dates de semis**

L'analyse de l'indice de satisfaction des besoins en eau du riz pluvial, suivant les dates de semis, a montré une très grande variabilité de cet indice. Selon le niveau de fréquence, des cas de très bonne, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise alimentations en eau du riz pluvial ont été

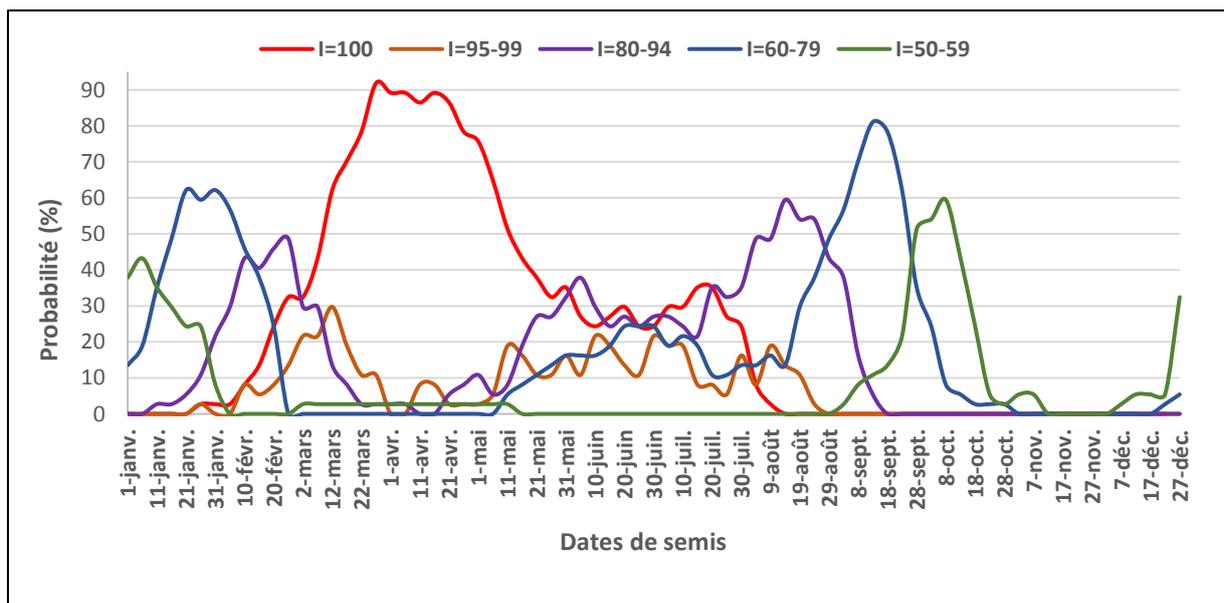
observés. Ils correspondent respectivement aux valeurs de l'indice I égale à 100% ou comprises entre 95-99% ; 80-94% ; 60-79 % et 50-59 %. Deux phases du développement ont été analysées pour le riz pluvial de 120 et pour celui de 100 jours. Il s'agissait de la phase sensible d'épiaison-floraison et de la phase de maturation.

#### **7.1.5.1. Probabilités d'alimentation hydrique du riz de 120 jours**

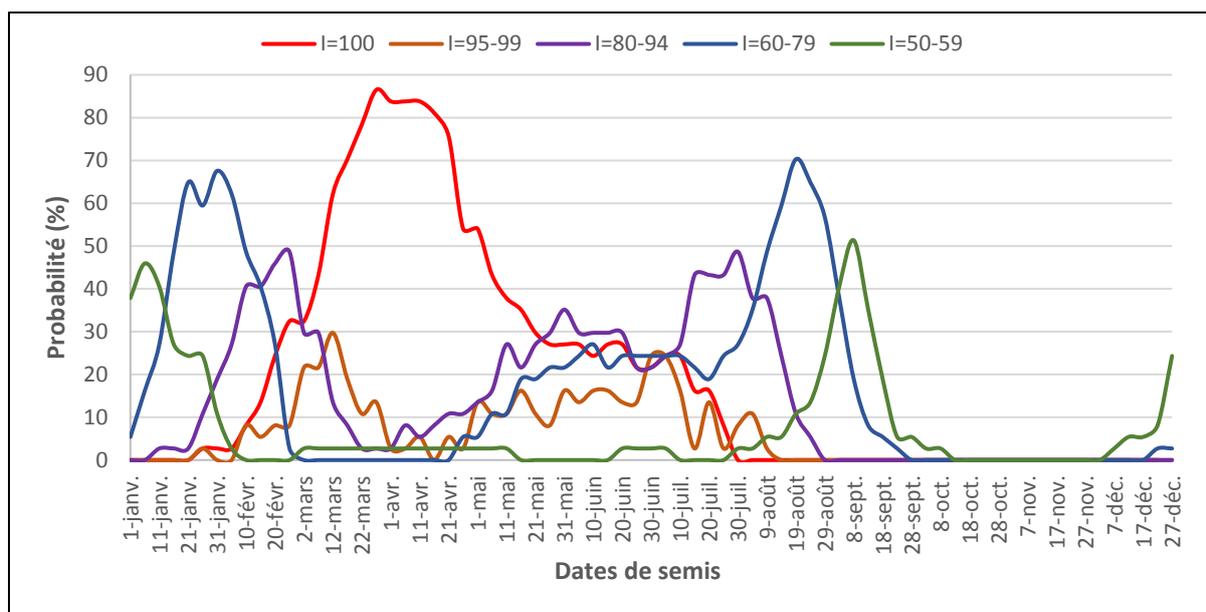
Dans la zone d'étude, pour le riz de 120 jours, les probabilités de très bonne alimentation hydrique ( $I=100$ ) étaient nulles entre fin juillet et fin janvier pour la phase de maturation (Figure 50) et entre mi-août et fin janvier pour la phase épiaison-floraison (Figure 49). Elles commençaient à croître de fin janvier jusqu'à fin mars ou elles atteignaient leur maximum et demeuraient élevées jusqu'à mi-avril pour la phase de maturation et fin avril pour la phase épiaison-floraison, avant de décroître jusqu'à fin juillet pour la phase maturation et jusqu'à mi-août pour la phase épiaison floraison. Pour les probabilités de bonne alimentation hydrique ( $95 < I < 99$ ), nulles entre mi-août et fin janvier pour la phase maturation et entre fin août et fin janvier pour la phase épiaison-floraison, elles croissaient de fin janvier à mi-mars pour les deux phases et atteignaient un maximum relatif avant de décroître de mi-mars pour s'annuler début avril pour la phase épiaison floraison et mi-avril pour la phase de maturation. Elles croissaient à nouveau de début avril jusqu'à fin juin et décroissaient de fin juin jusqu'à s'annuler fin août pour la phase épiaison floraison et pour la phase de maturation, croissaient de mi-avril jusqu'à fin juin et décroissaient de fin juin jusqu'à mi-août.

Pour les probabilités d'alimentation hydrique moyenne ( $80 < I < 94$ ), nulles de fin août à début janvier pour la phase de maturation et de mi-septembre à début janvier pour la phase d'épiaison floraison, elles croissaient de début janvier à fin février pour les deux phases et atteignaient un maximum relatif avant de décroître de fin février jusqu'à pratiquement s'annuler fin mars pour la phase de maturation et de décroître de fin février jusqu'à pratiquement s'annuler mi-avril pour la phase d'épiaison-floraison. Elles croissaient à nouveau, pour la phase de maturation, de fin mars à fin mai puis décroissaient de fin mai à fin juin avant de croître à nouveau de fin juin à fin juillet puis de décroître jusqu'à s'annuler fin août. Pour la phase épiaison floraison, elles croissaient de mi-avril à début juin puis décroissaient de début juin à mi-juillet avant de croître à nouveau de mi-juillet à mi-août puis de décroître jusqu'à s'annuler mi-septembre. Pour les probabilités d'alimentation hydrique médiocre ( $60 < I < 79$ ), nulles de fin septembre à mi-décembre pour la phase de maturation et de début novembre à mi-décembre pour la phase épiaison floraison elles croissaient de mi-décembre à fin janvier pour les deux phases, décroissaient de fin janvier à fin février pour les deux phases où elles s'annulaient jusqu'à fin

avril pour la phase de maturation et jusqu'à début mai pour la phase épiaison floraison. Elles croissaient à nouveau de fin avril jusqu'à mi-août et décroissaient de mi-août jusqu'à s'annuler fin septembre pour la phase de maturation, et croissaient de début mai à fin juin et décroissaient de fin juin à mi-août et croissaient de mi-août à mi-septembre puis décroissaient de mi-septembre jusqu'à s'annuler début novembre pour la phase épiaison floraison. Pour les probabilités de mauvaise alimentation hydrique ( $50 < I < 59$ ), pratiquement nulles de début février à fin juillet pour la phase de maturation et de début février jusqu' à fin août pour la phase d'épiaison floraison, elles croissaient de fin juillet à début septembre pour la phase de maturation et de fin août à début octobre pour la phase épiaison floraison. Elles décroissaient de début septembre jusqu'à s'annuler de mi-octobre à début décembre pour la phase de maturation et décroissaient de début octobre jusqu'à s'annuler de mi-novembre à début décembre pour la phase épiaison-floraison. Elles croissaient à nouveau, pour les deux phases, de début décembre jusqu'au début janvier puis décroissaient à nouveau de début janvier jusqu' s'annuler début février.



**Figure 49: probabilité d'années où l'indice de satisfaction I est supérieur à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 120 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017**



**Figure 50: probabilité d'années où l'indice de satisfaction  $I \geq$  à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017.**

#### 7.1.5.2. Probabilités d'alimentation hydrique du riz de 100 jours

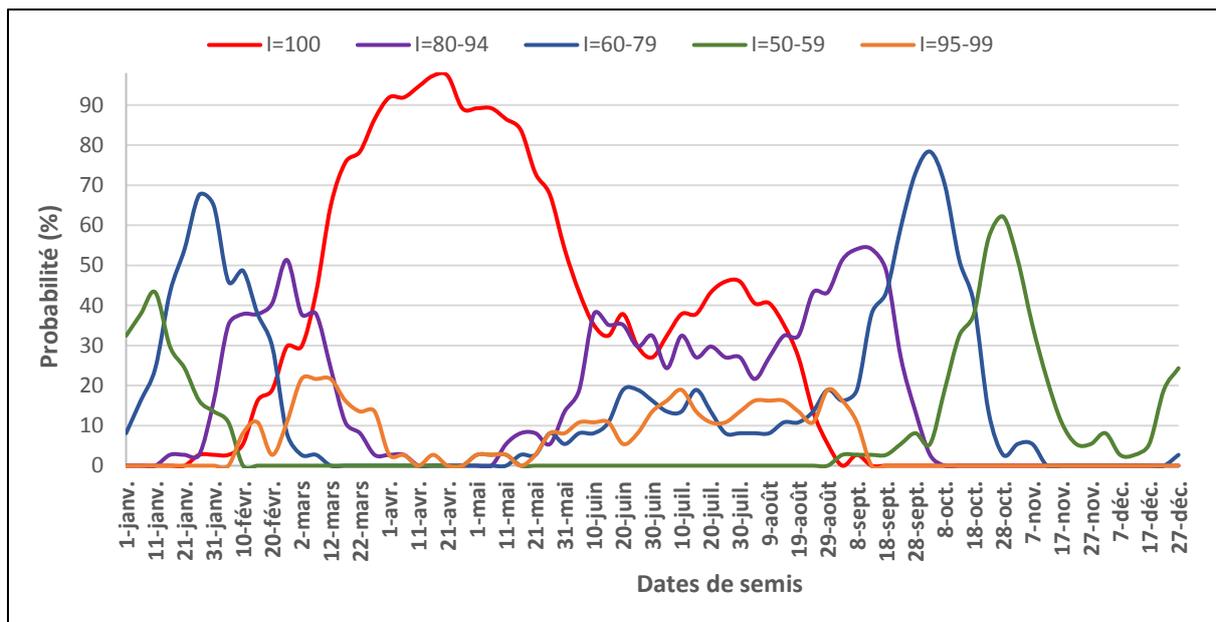
Dans la zone d'étude, pour le riz de 100 jours, les probabilités de très bonne alimentation hydrique ( $I=100$ ) étaient nulles entre mi-août et fin janvier pour la phase de maturation (Figure 52) et entre fin-août et fin janvier pour la phase épiaison-floraison (Figure 51). Elles commençaient à croître de fin janvier jusqu'à mi-avril ou elles atteignaient leur maximum et demeuraient élevées jusqu'à début mai pour la phase de maturation et commençaient à croître de fin janvier jusqu'à fin avril ou elles atteignaient leur maximum et demeuraient élevées jusqu'à mi-mai pour la phase épiaison-floraison. Elles décroissaient par la suite pour chacune des deux phases, jusqu'à atteindre un minimum relatif à fin juin avant de croître puis de décroître à nouveau jusqu'à s'annuler à mi-août pour la phase maturation et fin août pour la phase épiaison floraison.

Pour les probabilités de bonne alimentation hydrique ( $95 < I < 99$ ), pratiquement nulles entre fin août et fin-janvier pour la phase maturation et entre début septembre et fin janvier pour la phase épiaison-floraison, elles croissaient de fin janvier à mi-mars pour les deux phases et atteignaient un maximum relatif avant de décroître à partir de mi-mars pour s'annuler fin avril pour les deux phases. Elles croissaient à nouveau de fin-avril jusqu'à début juin et décroissaient de début juin jusqu'à s'annuler fin août, pour la phase de maturation et de croître fin-avril jusqu'à mi-juin et décroître de mi-juin jusqu'à s'accroître début septembre.

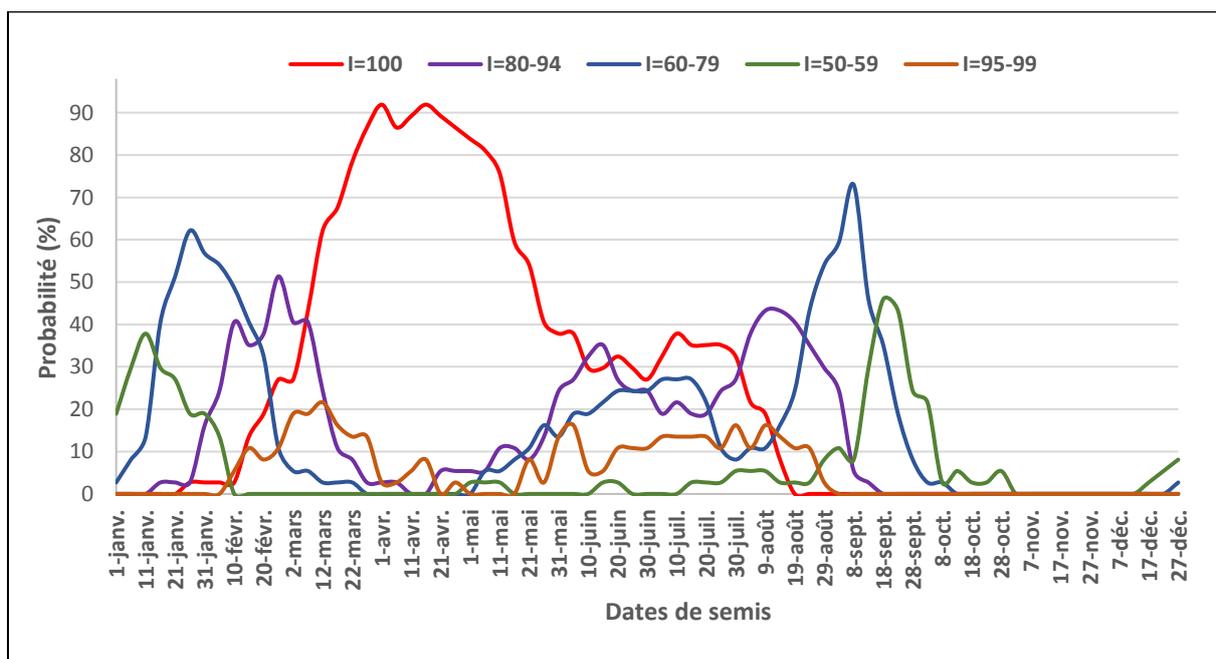
Pour les probabilités d'alimentation hydrique moyenne ( $80 < I < 94$ ), nulles de mi-septembre à début janvier pour la phase de maturation et de fin-septembre à mi-janvier pour la phase d'épiaison floraison, elles croissaient de début janvier à fin février pour les deux phases et atteignaient un maximum relatif avant de décroître de fin février jusqu'à pratiquement s'annuler mi-avril pour la phase de maturation et mi-avril pour la phase d'épiaison floraison. Elles croissaient à nouveau, pour la phase de maturation, de mi-avril jusqu'à début juin puis décroissaient jusqu'à s'annuler mi-septembre pour la phase épiaison floraison, elles croissaient de mi-avril à début juin puis décroissaient de début juin à mi-juillet avant de croître à nouveau de mi-juillet à mi-août puis de décroître jusqu'à s'annuler mi-septembre.

Pour les probabilités d'alimentation hydrique médiocre ( $60 < I < 79$ ), nulles du début octobre à mi-décembre pour la phase de maturation et de début novembre à mi-décembre pour la phase épiaison floraison, elles croissaient de mi-décembre à fin janvier pour les deux phases, décroissaient de fin janvier à fin mars pour la phase de maturation ou elles s'annulaient jusqu'à début mai et de fin janvier à mi-mars pour la phase épiaison floraison ou elles s'annulaient jusqu'à mi-mai. Elles croissaient à nouveau de début mai jusqu'à mi-juillet et décroissaient de mi-juillet jusqu'à fin juillet pour la phase maturation et croissaient de mi-mai à mi-juillet et décroissaient de mi-juillet à début août et croissaient à nouveau de début août à fin septembre puis décroissaient de fin-septembre jusqu'à s'annuler début novembre pour la phase épiaison floraison.

Pour les probabilités de mauvaise alimentation hydrique ( $50 < I < 59$ ), pratiquement nulles de début février à fin juin pour la phase de maturation et jusqu'à fin août pour la phase d'épiaison floraison, elles croissaient de fin juin à mi-septembre pour la phase de maturation et de fin août à fin octobre pour la phase épiaison floraison. Elles décroissaient de mi-septembre jusqu'à s'annuler de fin octobre à début décembre pour la phase de maturation et décroissaient de fin octobre jusqu'à début décembre pour la phase épiaison-floraison. Elles croissaient à nouveau, pour les deux phases, de début décembre jusqu'au début janvier puis décroissaient de début janvier jusqu'à s'annuler début février.



**Figure 51: probabilité d'années où l'indice de satisfaction  $I \geq$  à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 100 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017**



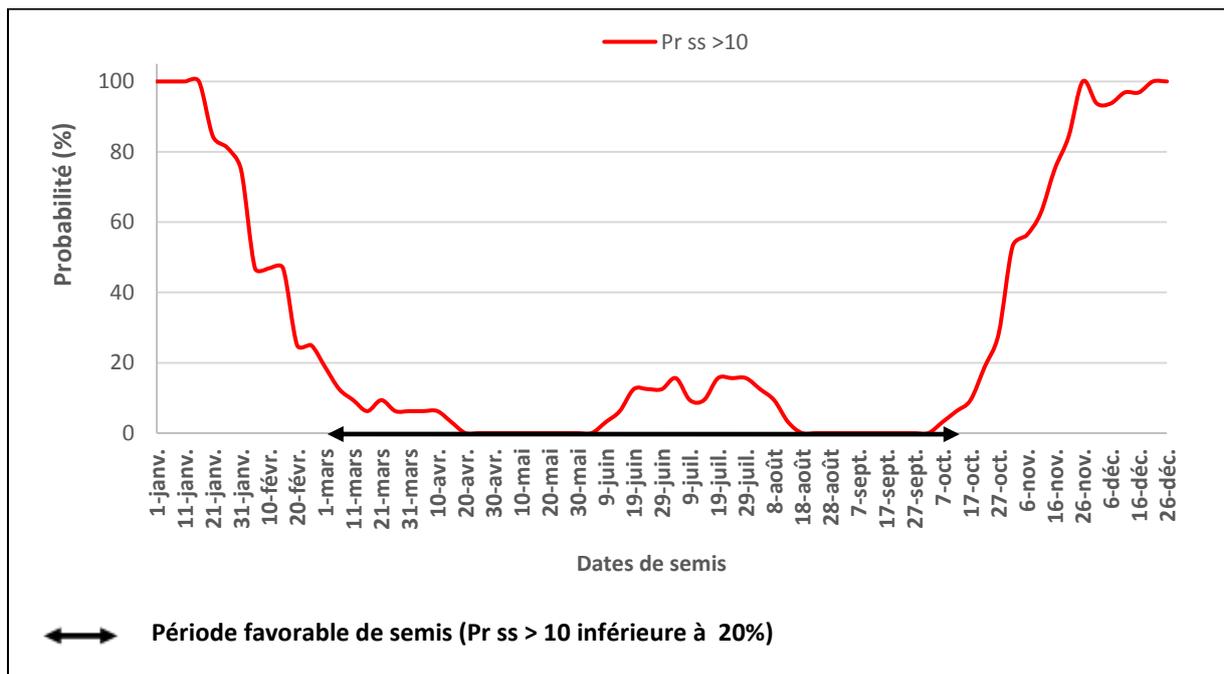
**Figure 52: probabilité d'années où l'indice de satisfaction  $I \geq$  à une valeur seuil comprise entre 100 % et 50-59% de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 100 jours en fonction des dates de semis au cours de la période 1980-2017**

Avec des probabilités d'occurrence variables, l'alimentation hydrique médiocre ou mauvaise, entraînant un déficit hydrique, constitue un risque climatique majeur pour la culture du riz pluvial, notamment pour les phases épiaison-floraison et maturation.

## 7.1.6. Périodes favorable et optimale de semis du riz pluvial

### 7.1.6.1 Période favorable de semis

La figure 53 présente, suivant les dates de semis, l'évolution de la probabilité d'occurrence de séquences sèches supérieures à dix jours pendant les 30 jours qui suivent le semis. Les probabilités d'occurrence de séquences sèches supérieures à dix jours étaient élevées (supérieures à 80%) entre le 21 novembre et le 26 janvier. Elles décroissaient à partir du 26 janvier et s'annulaient entre le 20 avril et le 04 juin. Elles croissaient légèrement du 04 juin au 29 juillet avant de décroître progressivement pour s'annuler entre le 18 août et le 02 octobre. De là, elles croissaient rapidement jusqu'à atteindre le maximum de 100% le 26 novembre. L'analyse de cette courbe permet de distinguer la période du 1<sup>er</sup> mars au 22 octobre comme période favorable de semis car elle correspond à la période de satisfaction des besoins hydriques de la levée du riz pluvial dans la zone pré-forestière considérée. En effet, tout au long de cette période, les probabilités d'occurrence des séquences sèches supérieures à dix jours restaient inférieures à 20%.

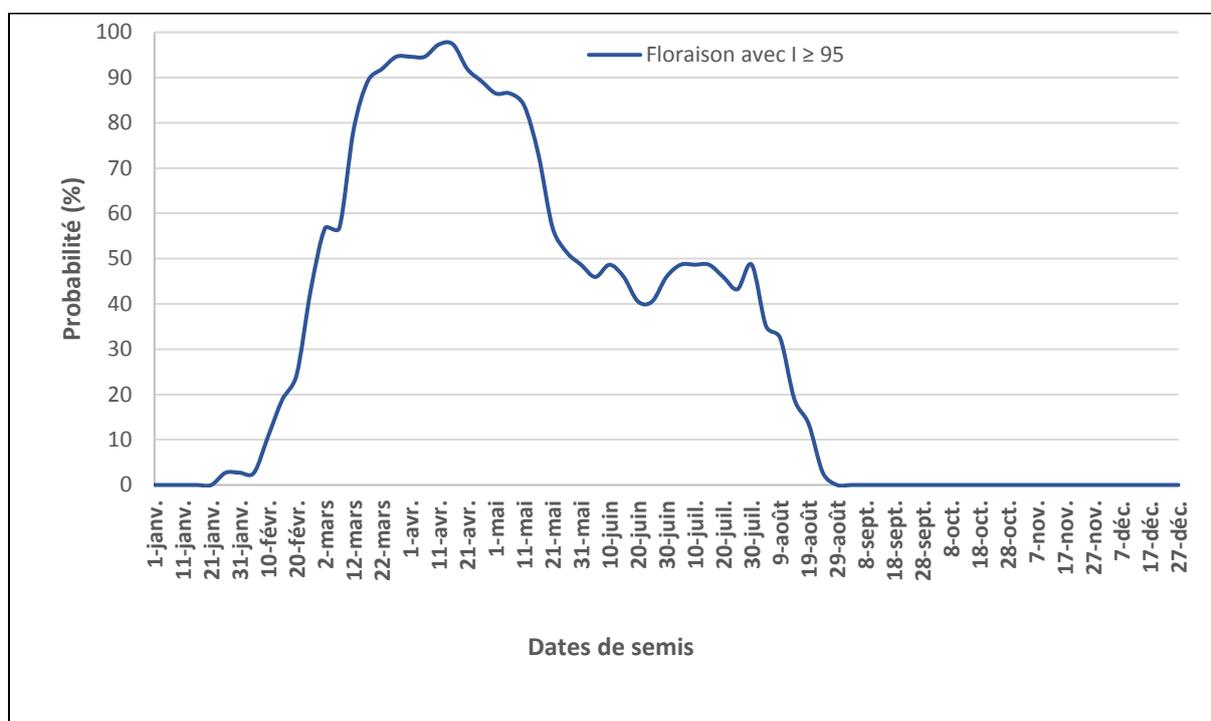


**Figure 53 : évolution de la probabilité d'occurrence des séquences sèches supérieures à 10 jours, 30 jours après le semis du riz pluvial (période 1980-2017)**

### 7.1.6.2. Période optimale de semis du riz pluvial de cycle moyen de 120 jours

- **Probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase épiaison-floraison du riz de cycle moyen**

La figure 54 présente, suivant les dates de semis, l'évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. Les probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase épiaison-floraison étaient nulles du 29 août au 21 janvier. Elles croissaient à partir du 21 janvier jusqu'à atteindre un maximum relatif de 0,97 le 16 avril avant de décroître plus ou moins progressivement jusqu'à s'annuler le 29 août.

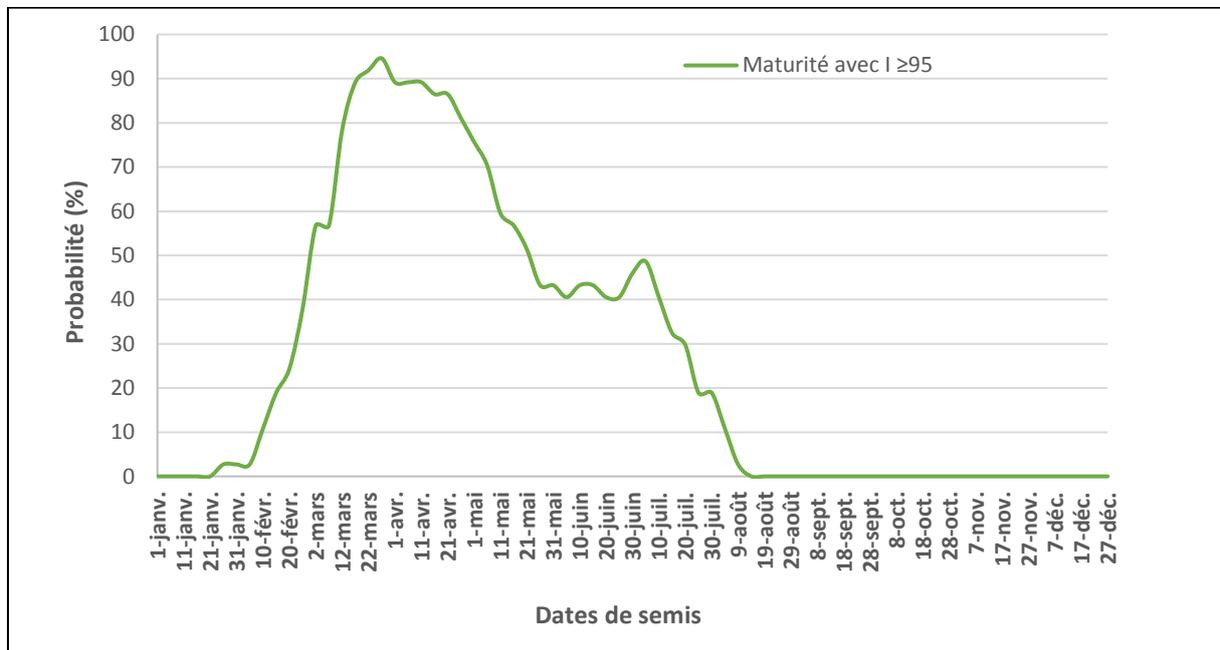


**Figure 54 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017.**

- **Probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase de maturation du riz de cycle moyen**

La figure 55 présente, suivant les dates de semis, l'évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. Les probabilités d'occurrence de

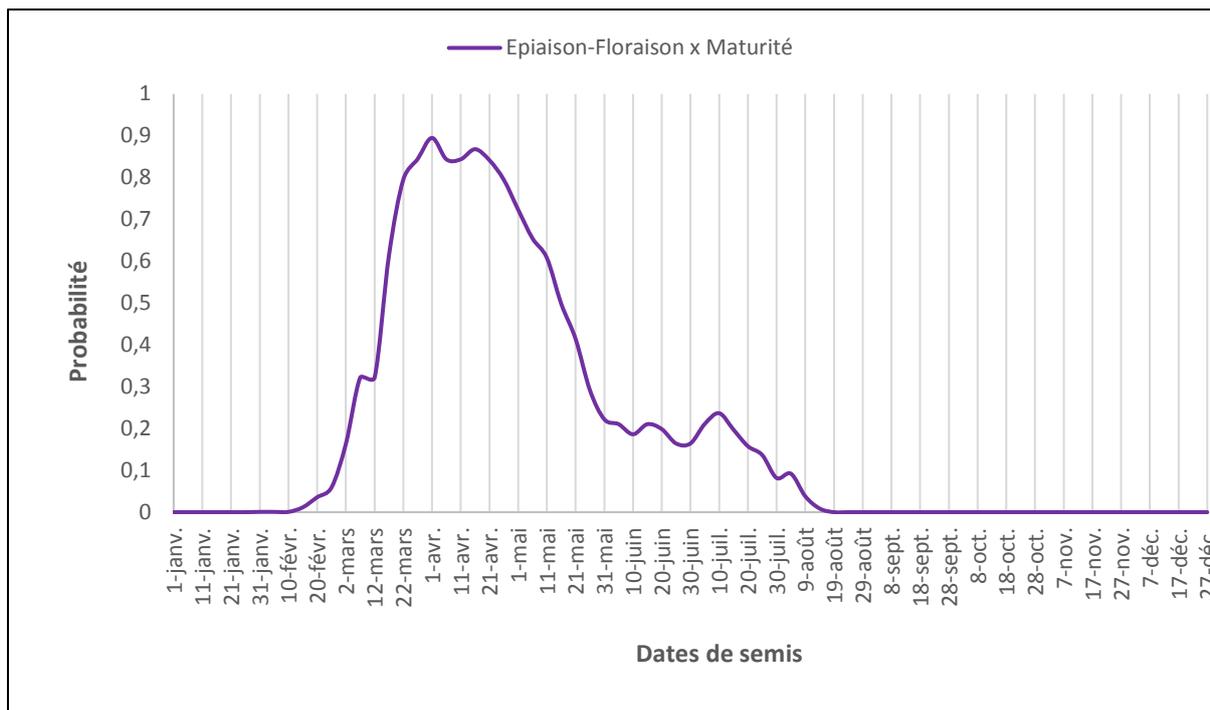
bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase de maturation étaient nulles du 14 août au 21 janvier. Elles croissaient à partir du 21 janvier jusqu'à atteindre un maximum de 0,95 au 27 mars avant de décroître plus ou moins progressivement jusqu'à s'annuler le 14 août.



**Figure 55 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017**

- **Probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des phases Floraison-épiaison et maturation du riz de cycle moyen**

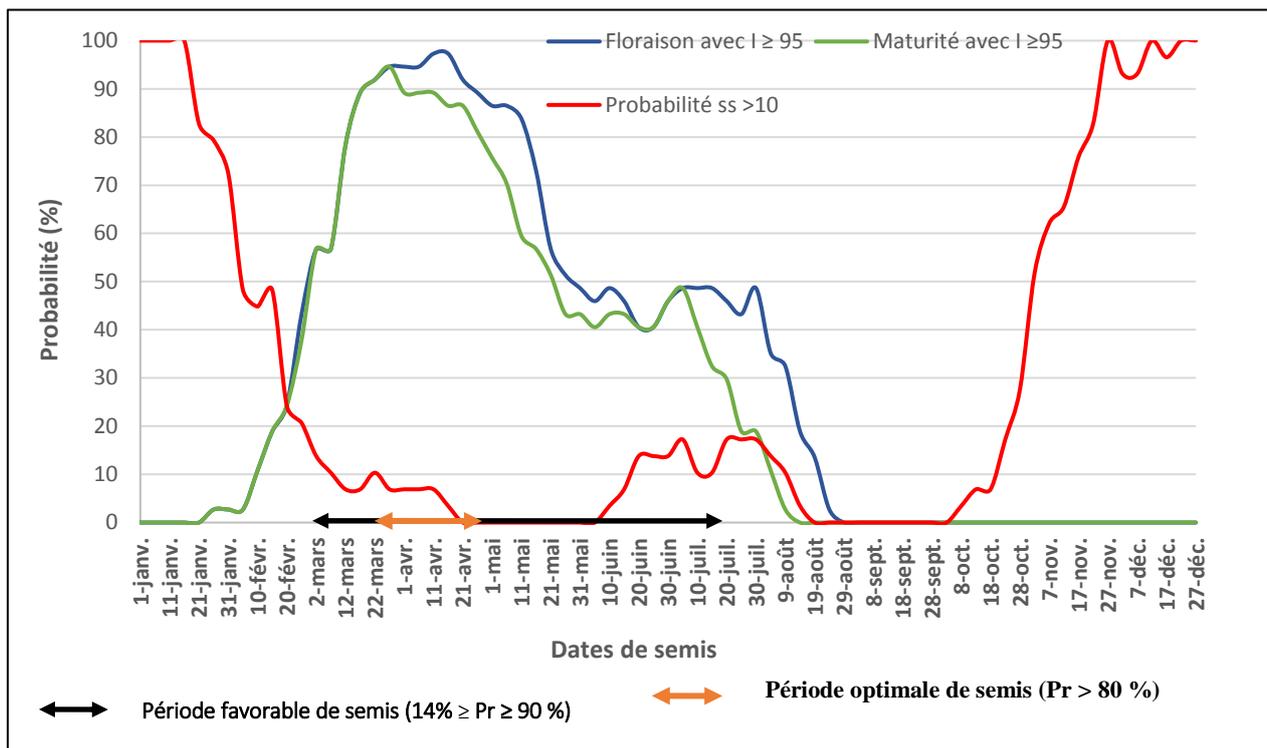
La figure 56 présente, suivant les dates de semis, l'évolution des probabilités d'occurrence des bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) des phases Floraison-épiaison et maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. Les probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des deux phases étaient nulles du 14 août au 21 janvier. Elles croissaient entre le 21 janvier et le 27 mars avec un maximum de 0,84 avant de décroître plus ou moins progressivement jusqu'à s'annuler le 14 août.



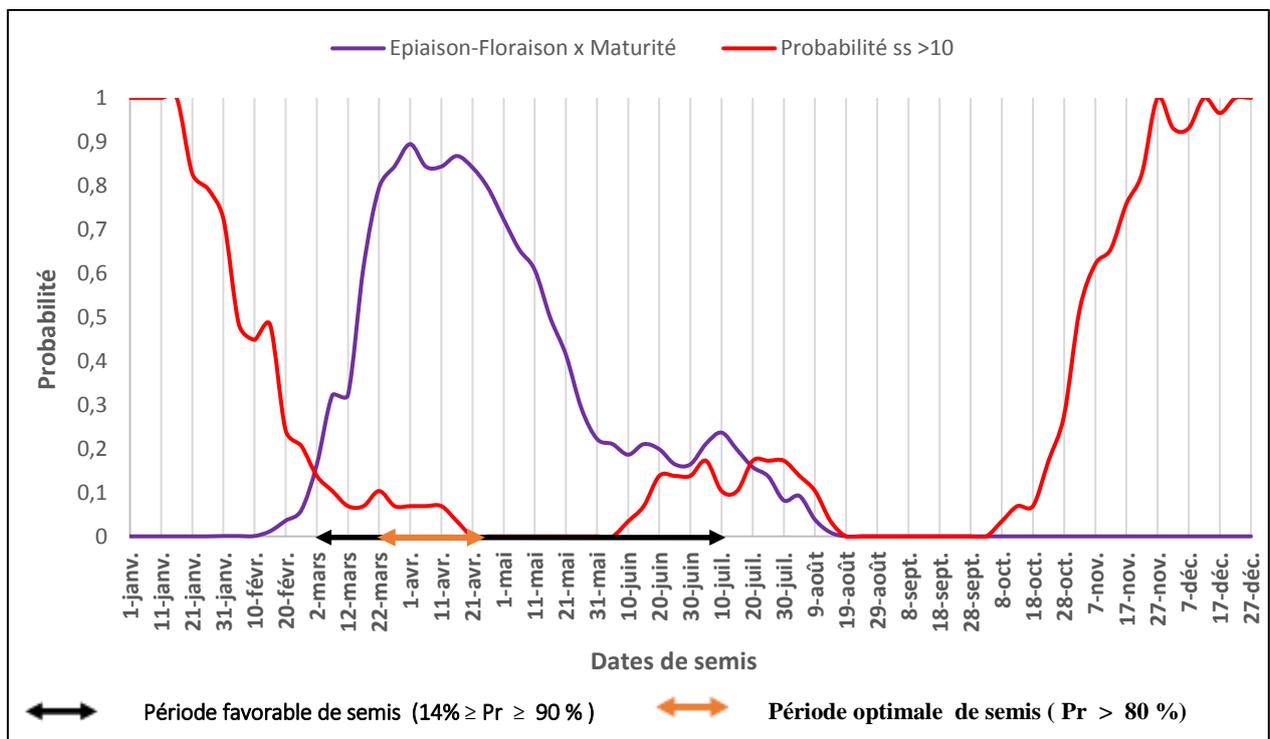
**Figure 56 : évolution des probabilités d’occurrence de bonnes conditions d’alimentation hydrique des phases épiaison-floraison et maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017.**

- **Période optimale de semis du riz pluvial de cycle moyen de 120 jours**

Les graphiques des figures 57 et 58 permettent de déterminer en première approximation la période optimale de semis. Elle part du 02 mars au 20 juillet. Un semis effectué au cours de cette période permet d’obtenir une bonne alimentation hydrique du riz avec des probabilités de réussite allant de 14% à 90 %. Cependant, en considérant une probabilité maximale (probabilité > 80%) de réussite du riz sur la période 1980-2017, la période optimale de semis du riz pluvial de 120 jours se restreint du 22 mars au 26 avril (Figures 57 et 58). Un semis effectué entre le 22 mars et le 26 avril permet d’obtenir une bonne alimentation hydrique du riz de 120 jours dans plus de 80% des cas.



**Figure 57 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz pluvial de cycle moyen par l'intersection de trois courbes.**

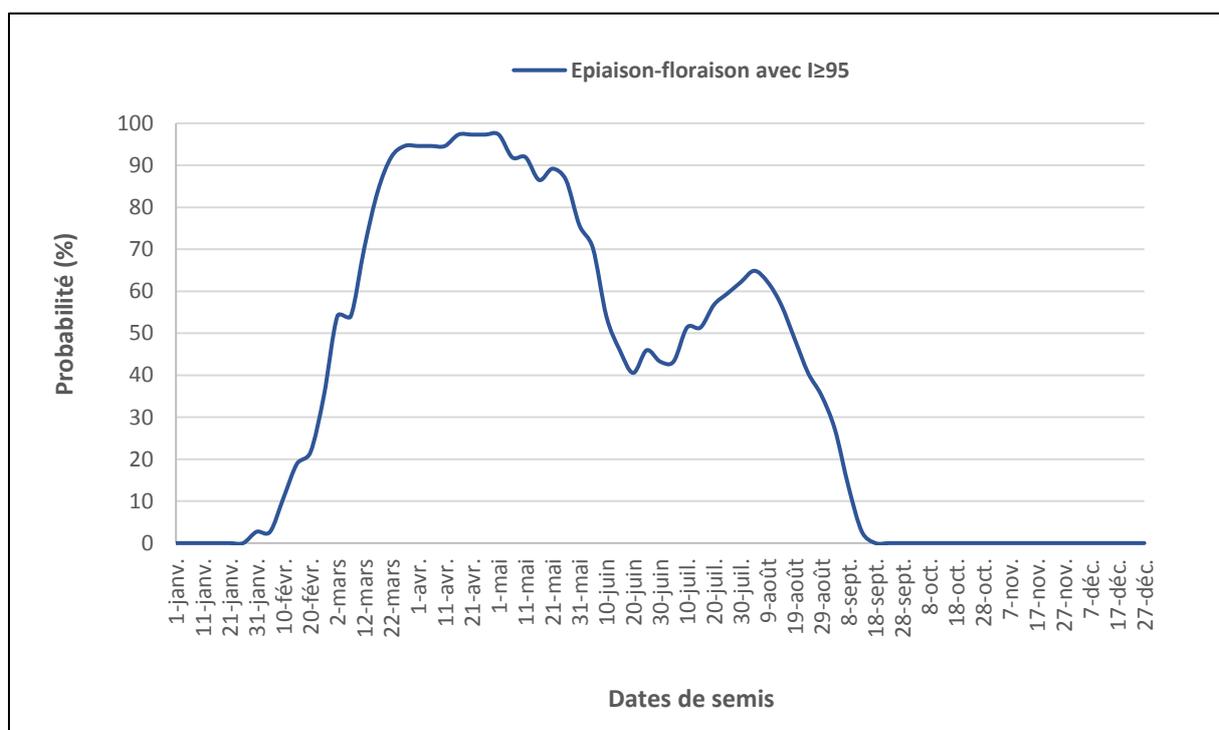


**Figure 58 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz de cycle moyen par l'intersection de deux courbes.**

### 7.1.6.3 Période optimale de semis du riz pluvial de cycle court de 100 jours

- **Probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase épiaison-floraison du riz de cycle court**

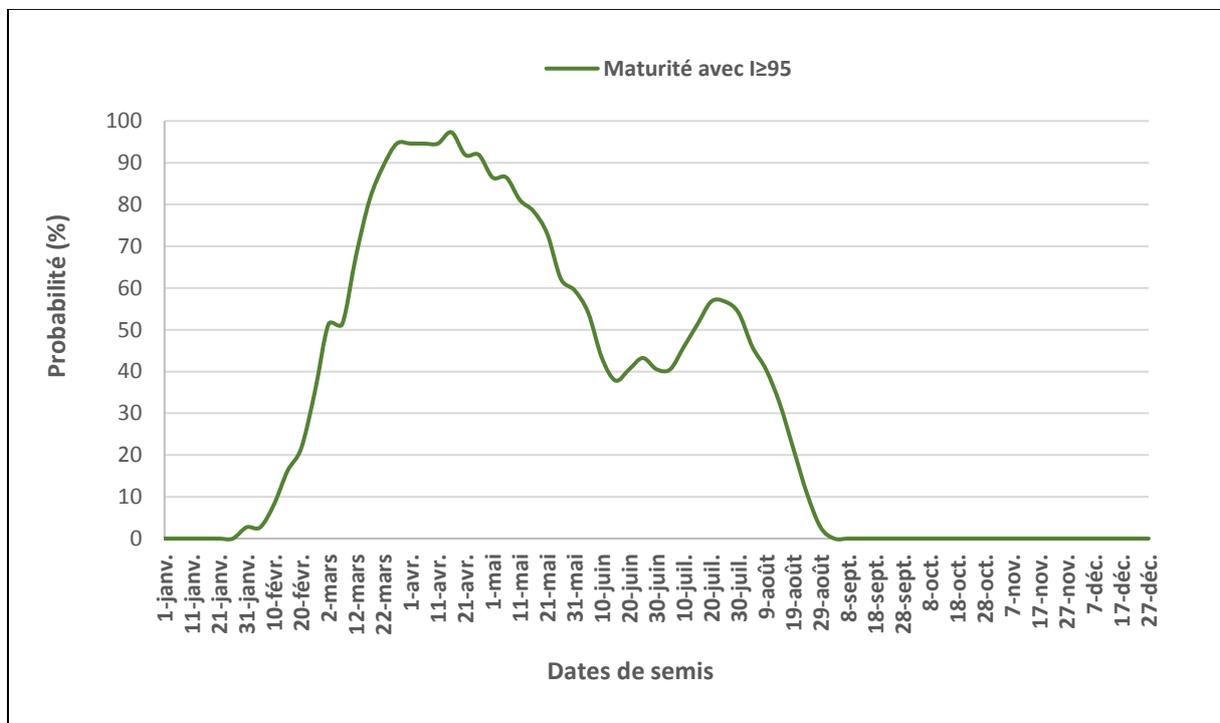
La figure 59 présente, suivant les dates de semis, l'évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 100 jours au cours de la période 1980-2017. Les probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase épiaison-floraison, nulles du 18 septembre au 26 janvier, croissaient entre le 26 janvier et le 16 avril et entre le 20 juin 04 août avec respectivement des maximums relatifs de 0,97 et de 0,64 et décroissaient entre le 16 avril et le 20 juin et entre le 04 août et le 18 septembre avec des minimums relatifs respectifs de 0,40 et de 0.



**Figure 59: évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase épiaison-floraison pour la variété de riz pluvial de 100 jours au cours de la période 1980-2017.**

- **Probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase de maturation du riz de cycle court**

La figure 60 présente, suivant les dates de semis, l'évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 100 jours au cours de la période 1980-2017. Les probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase de maturation s'annulaient entre le 03 septembre et le 26 janvier, croissaient entre le 26 janvier et le 27 mars et entre le 15 juin et le 20 juillet et décroissaient entre le 27 mars et le 15 juin et entre le 20 juillet et le 03 septembre.

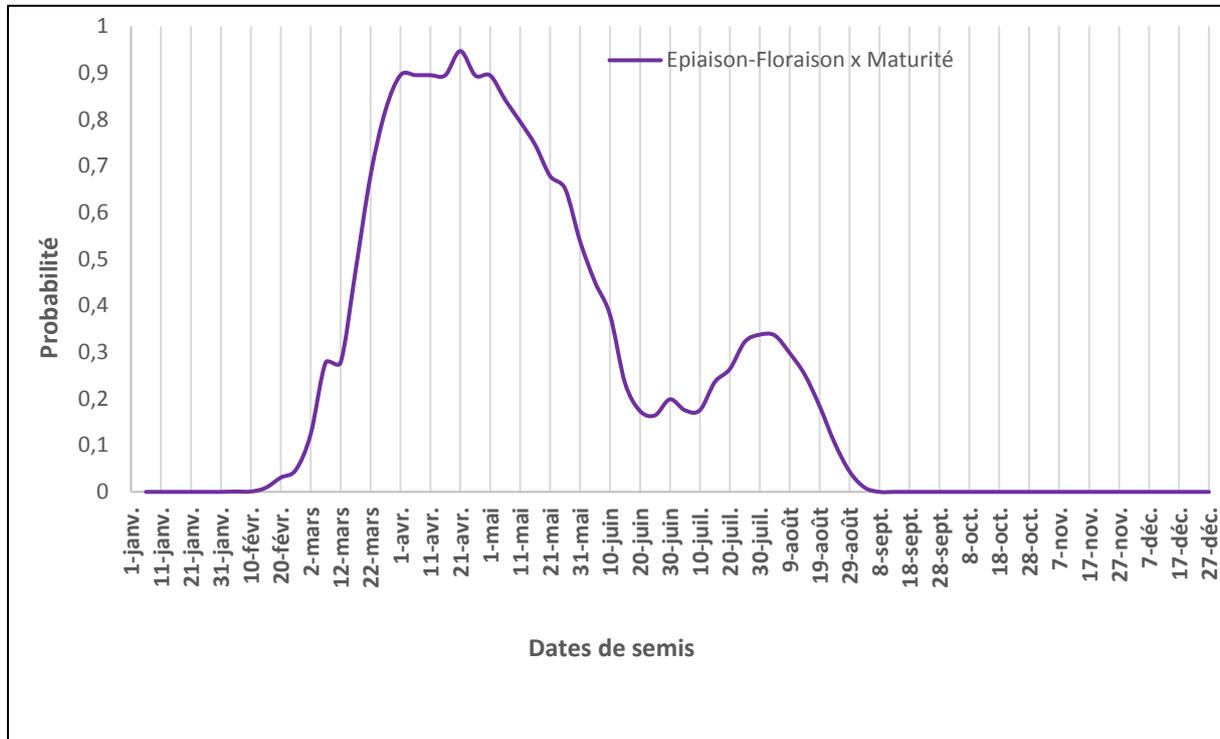


**Figure 60 : évolution des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) de la phase de maturation pour la variété de riz pluvial de 100 jours au cours de la période 1980-2017.**

- **Probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des phases Floraison-épiaison et maturation du riz de cycle court**

La figure 61 présente, suivant les dates de semis, l'évolution des probabilités d'occurrence des bonnes conditions d'alimentation hydrique ( $I \geq 95$ ) des phases Floraison-épiaison et maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017. Les probabilités

d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique des deux phases (Probabilités croisées) ont connu les mêmes évolutions que celles des probabilités d'occurrence de bonnes conditions d'alimentation hydrique de la phase de maturation.



**Figure 61 : évolution des probabilités d’occurrence de bonnes conditions d’alimentation hydrique des phases Epiaison-floraison et maturation pour la variété de riz pluvial de 120 jours au cours de la période 1980-2017.**

- **Période optimale de semis du riz pluvial de cycle court de 100 jours**

Les graphiques des figures 62 et 63 permettent de déterminer en première approximation la période optimale de semis. Elle est comprise entre le 02 mars et le 03 septembre. Un semis effectué durant cette période permet d’obtenir une bonne alimentation hydrique du riz avec des probabilités de réussite annuelle comprises entre 0 et 95 %. Cependant, en considérant une probabilité maximale (probabilité > 80%) de réussite, la période optimale de semis du riz pluvial de 100 jours se restreint du 27 mars au 11 mai. Un semis effectué au cours de cette dernière période permet d’obtenir une bonne alimentation hydrique du riz pluvial de 100 jours dans plus de 80% des cas.

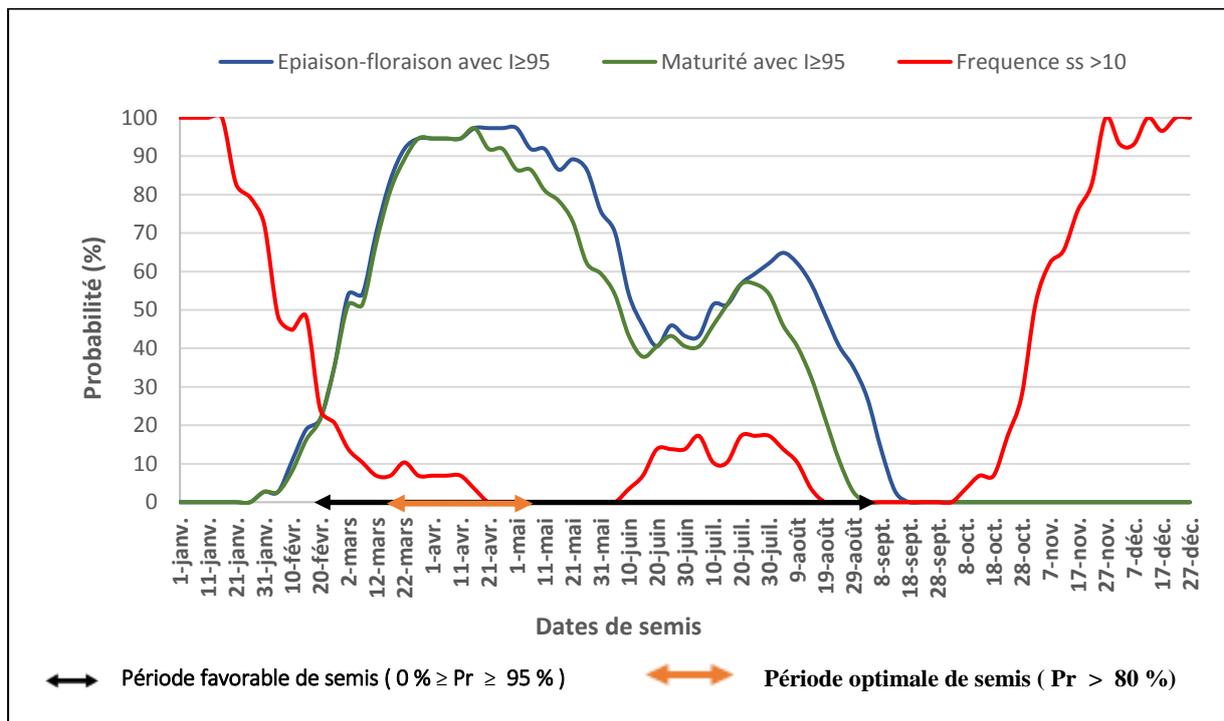


Figure 62 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz pluvial de cycle court par l'intersection de trois courbes.

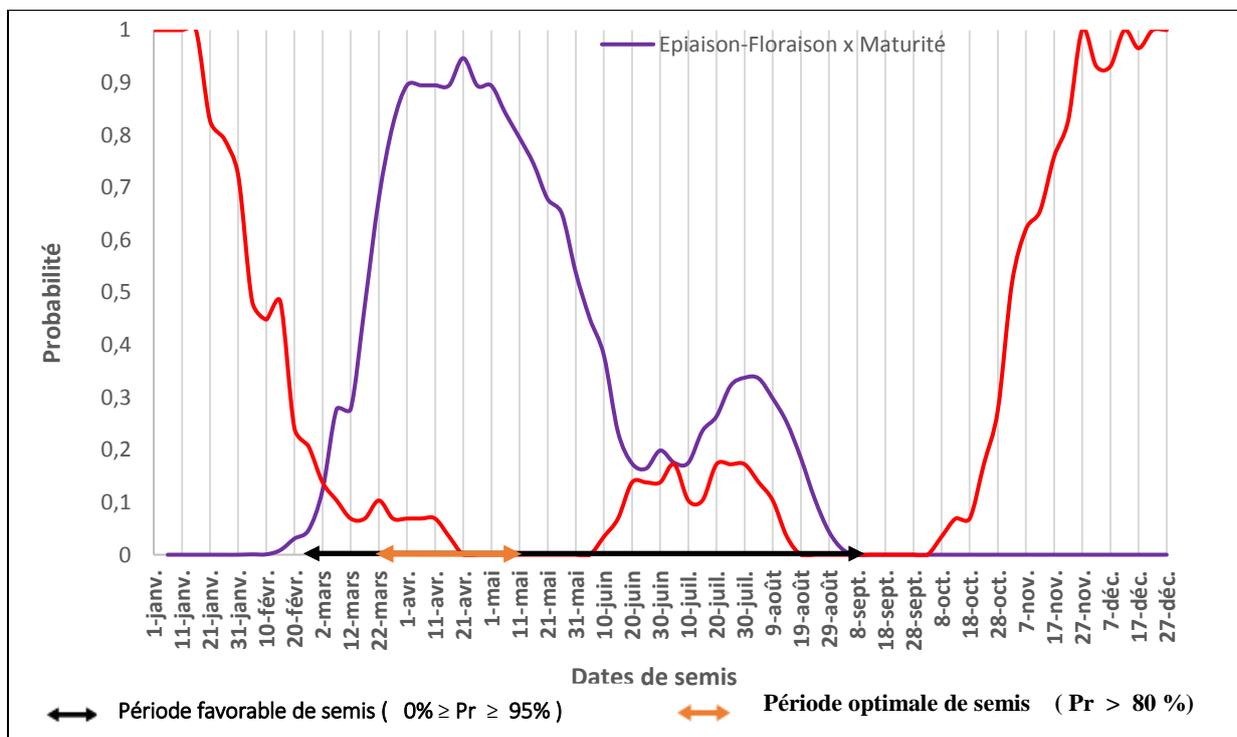


Figure 63 : détermination graphique de la période optimale de semis du riz de cycle court par l'intersection de deux courbes.

Afin d'atténuer les impacts négatifs de l'occurrence de risques climatiques de la zone d'étude sur le riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices, les risques climatiques ont été identifiés et les périodes optimales de semis, susceptibles d'atténuer leurs effets déterminés. La hausse des températures maximales, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies, les faux départs, les fins de saison de pluie de plus en plus précoces, le raccourcissement de la saison des pluies, la baisse du cumul pluviométrique saisonnier, les séquences sèches, les sécheresses saisonnières et les déficits hydriques ont été identifiés comme risques climatiques majeurs pour la culture du riz pluvial dans la zone d'étude. Aussi, les périodes du 22 mars au 26 avril et du 27 mars au 11 mai ont été identifiées comme périodes optimales de semis respectivement pour le riz de 120 et de 100 jours. Ces résultats sont discutés dans la section 7.2.

## **7.2. Discussion sur l'identification des risques climatiques et sur la détermination des périodes optimales de semis**

### **7.2.1. Hausse des températures**

Avec une probabilité de 80% de températures maximales inférieures aux seuils dommageables pour le riz pluvial, que Chaudhary *et al* (2003) situent entre 30° et 45°C, et une probabilité de 80% de températures minimales supérieures aux seuils dommageables compris entre 7°C et 22°C (Chaudhary *et al.*, 2003), les températures ne constituent pas un risque majeur pour la culture du riz pluvial dans la zone. Cependant, la hausse des températures maximales avec l'accroissement des extrêmes dépassant le seuil de 35°C constitue un risque climatique pour le riz pluvial. Cette tendance à la hausse est confirmée par les études de la Direction Météorologique Nationale de Côte d'Ivoire (DMN) qui indiquent que la Côte d'Ivoire s'est réchauffée en moyenne de 0,5°C depuis la décennie 80. Aussi, Djè (2014) indique une hausse de la température de 3°C, allant du nord au sud, d'ici 2100 sur la majeure partie de la Côte d'Ivoire. Yao *et al* (2013) ont indiqué que de 1960 à 2010, la température des 4 zones agro-climatiques ivoiriennes et singulièrement celle de la zone pré-forestière a cru avec un taux moyen de 1,6 °C. Cette tendance à la hausse des températures est également confirmée par le rapport de la CEDEAO-CSAO/OCDE (2008) qui indique que les températures en Afrique de l'Ouest ont évolué avec des augmentations allant de 0,2°C à 0,8°C par décennie depuis la fin des années 1970. Cette hausse des températures constitue un risque pour la culture du riz pluvial. En effet, selon Chaudhary *et al.*(2003), les températures élevées peuvent entraîner, chez le riz pluvial, une augmentation du besoin en eau, un stress hydrique et thermique accrus, un

tallage réduit, des panicules blanches, un nombre réduit d'épillets lors de l'initiation florale, une stérilité accrue lors de l'épiaison et un remplissage réduit des grains lors de la maturation. Ce qui entrainerait une baisse des rendements. Aussi, Salack (2006) indique que les températures élevées rendent les fleurs de riz stériles donc affectent les rendements du riz. Dans ces conditions, le riz serait peu compétitif vis à vis des adventices qui selon Gibot-Leclerc *et al.*, (2009) sont mieux adaptés à ces nouvelles situations. De ce fait, l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices serait alors moins perceptible.

### **7.2.2. Raccourcissement de la saison des pluies**

Avec une probabilité de plus de 80%, la durée de la saison des pluies est supérieure aux durées du cycle du riz pluvial de 100 jours et de 120 jours. La durée de la saison des pluies ne constitue donc pas un risque pour la culture du riz pluvial. Cependant, on observe un raccourcissement de la durée de la saison des pluies dans le temps. En effet, l'on note un raccourcissement d'en moyenne 5 jours de la durée de la saison des pluies sur chaque décennie. Ce raccourcissement est confirmé par Goula *et al.*, (2006) qui indiquent qu'en Côte d'Ivoire, le début des saisons de pluie accuse un retard dont la durée reste variable d'une région à l'autre. Aussi, une étude de la SODEXAM cité par Djè (2014), indique qu'en Côte d'Ivoire, la saison des pluies s'est raccourcie en moyenne de 10 à 27 jours sur le littoral avec un retard de démarrage de deux semaines. A l'intérieur du pays, on observe une réduction de la longueur de la saison des pluies de 10 à 20 jours dans le Nord, de 20 à 30 jours dans le Sud intérieur et de 10 à 28 jours au Centre. Les retards de démarrage de la saison varient d'une à deux semaines selon la localité. Ce raccourcissement, un risque pour la culture du dans l'occurrence de ce risque dans la zone d'étude se traduirait selon Beavogui (2012) par l'inadaptation des périodes de semis et des variétés cultivées aux saisons culturales. Ce qui exposerait la culture du riz pluvial à des déficits hydriques et à des sécheresses qui se traduiraient par la baisse inéluctable des rendements. Elle fragiliserait par ailleurs la culture qui serait alors moins compétitive vis à vis des adventices. De ce fait, ce risque climatique compromettrait également l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices. Malgré le raccourcissement des périodes pluvieuses, l'on constate que la durée de celles-ci demeure supérieure à la durée du cycle des principales variétés de riz pluvial cultivées dans la zone. Le risque climatique découlant du raccourcissement de la saison des pluies serait donc davantage dû à un mauvais calage du calendrier cultural par les producteurs. L'identification des périodes optimales de semis du riz pluvial dans la zone d'étude pourrait atténuer l'occurrence de ce risque climatique.

### **7.2.3. Pluviométrie et séquences sèches**

Avec une probabilité de plus de 80%, les cumuls pluviométriques annuels et saisonniers, supérieurs aux besoins en eau totaux du riz pluvial de 100 jours et de 120 jours, ne constituent pas de risques pour la culture du riz pluvial. Cependant, l'on observe une baisse du cumul pluviométrique saisonnier dans le temps. Cette baisse constitue un risque climatique pour la culture du riz pluvial. Elle est confirmée par Djè (2014) qui montre que la Côte d'Ivoire est exposée à une baisse journalière de 8% des précipitations pendant les mois pluvieux d'avril à juillet durant les cent prochaines années. Selon Beavogui (2012), cette baisse pourrait entraîner des déficits hydriques qui se traduiraient par la baisse du rendement du riz pluvial. Il se traduirait également par la perte de compétitivité du riz pluvial vis à vis des adventices, rendant ainsi moins efficaces les méthodes de lutte intégrée contre les adventices.

Concernant les séquences sèches, leur analyse révèle que, sur l'année, l'on observe une diminution du nombre maximal de jours consécutivement secs tandis que ce nombre augmente pendant la saison des pluies notamment durant les mois les pluies pluvieuses. Une sécheresse saisonnière est donc observée dans la zone d'étude. Avec des probabilités d'occurrence variables au cours du cycle du riz pluvial, notamment au cours de la levée et de la floraison, les séquences sèches, particulièrement les sécheresses saisonnières, constituent des risques climatiques pour la culture du riz pluvial. En effet, comme l'indique Beavogui (2012), l'occurrence d'une sécheresse saisonnière peut entraîner une défaillance des tallages, un retard de la floraison, un remplissage incomplet des grains et une baisse de rendement. Elle peut également entraîner la perte de compétitivité du riz vis à vis des adventices, rendant ainsi moins visible l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices.

### **7.2.4. Périodes optimales de semis et calage du cycle de culture**

En Côte d'Ivoire, le changement climatique observé, de par ses effets sur la température et la pluviométrie, contribue à accroître la vulnérabilité de l'agriculture avec pour conséquence la méconnaissance de l'évolution du climat qui induit une inadaptation des périodes culturales aux nouvelles saisons (Djè, 2014). La nécessité de l'adaptation des pratiques culturales au changement climatique n'est plus à démontrer. Elle est même indispensable dans le processus d'évaluation des nouveaux systèmes de cultures et peut contribuer à atténuer les effets pervers de la variabilité climatique. Aussi bien les pouvoirs publics que les populations mènent des actions dans le sens de cette adaptation. Ces initiatives couvrent une large gamme de mesures dont la construction d'ouvrages hydroagricoles, la sélection de nouvelles variétés plus

résistantes et l'adaptation des périodes culturales aux nouvelles saisons. Cette étude qui s'inscrit dans cette dernière dynamique a montré que, suivant les critères de Stern *et al.*, (2006), la période favorable de semis du riz pluvial dans la zone pré-forestière s'étend du 1<sup>er</sup> mars au 22 octobre. La période optimale de semis quant à elle, s'étend du 22 mars au 26 avril pour la variété de riz de 120 jours et du 27 mars au 11 mai pour la variété de riz de 100 jours.

La période optimale de semis pour le riz pluvial de 100 jours est incluse dans celle indiquée depuis 2005 par le CNRA et qui couvre le mois d'avril et la période du 15 juin au 05 juillet (Bouet *et al.*, 2005) . Par contre, pour le riz de 120 jours, la période optimale déterminée par l'étude, ne coïncide pas avec le mois de juin suggéré par le CNRA (Bouet *et al.*, 2005). Il s'emble que les effets du changement climatique intervenus depuis 2005 ont perturbé une fois de plus le calendrier culturel du riz pluvial de 120 jours dans la zone d'étude. Des résultats similaires ont été obtenus par Kouakou *et al.*, (2013) dans le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire où la période du 11 au 30 avril est désormais recommandée pour le semis du riz de 90 jours et celle du 1<sup>er</sup> mars au 20 avril pour celui du riz pluvial de 105 jours.

L'étroitesse des périodes optimales de semis ne favorise pas un second cycle culturel, aussi bien pour la variété de cycle moyen que pour celle de cycle court, car les plantes ne bénéficieront pas de conditions de bonnes alimentations hydriques avec une probabilité de réussite élevée. En effet, un éventuel second cycle culturel semé en dehors des périodes optimales identifiées sera confronté à des conditions d'alimentation hydrique allant de moyenne à mauvaise ou à une probabilité de réussite plus faible (Probabilité < 0,8) impliquant un risque d'échec plus élevé pour le paysan. Ces résultats sont en phase avec les conclusions de Kouakou *et al.*, (2013) qui révèlent que la seconde période végétative du riz, qui dure au maximum 2 mois 10 jours, ne permet plus d'envisager un second cycle culturel du riz pluvial dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire.

Tous les résultats obtenus résultent de la modification des paramètres climatiques constatée au niveau de toute la zone pré-forestière et mise en évidence par plusieurs auteurs dont Diomandé *et al.* (2017) qui révèlent que, dans le V baoulé, le régime pluviométrique à quatre saisons s'organise progressivement en régime pluviométrique à deux saisons. Spécifiquement dans la zone d'étude, le régime pluviométrique bimodal a été remplacé par un régime pluviométrique monomodal. Ce qui a accru le risque de déficit pluviométrique pour les cultures pluviales et perturbé les calendriers culturels avec un impact plus significatif sur les variétés de cycle moyen.

Afin de capturer la variabilité climatique de la zone d'étude, une expérimentation virtuelle a été réalisée à l'aide d'un modèle ad hoc de culture. Cette expérimentation a permis d'évaluer, sous

une longue série climatique, les méthodes de lutte contre les adventices et d'étudier l'impact de la variabilité climatique, plus précisément des variabilités du stress hydrique et du cumul pluviométrique, sur le rendement du riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices. Les résultats de cette dernière étude sont présentés et discutés au chapitre 8.

## CHAPITRE 8: RESULTATS ET DISCUSSIONS DE L'EXPERIMENTATION VIRTUELLE

### 8.1 Résultats de l'expérimentation virtuelle

Les résultats de l'expérimentation virtuelle portent sur le paramétrage et la simulation des modèles PYE et PYE-IWM et sur l'analyse de leurs résultats.

#### 8.1.1. Paramétrage du modèle de base PYE

Le calage a consisté à ajuster les paramètres du modèle de base PYE de manière à ce que les valeurs simulées correspondent aux valeurs mesurées. Les paramètres par défaut du modèle proviennent du calage réalisé par Luu (2012) au Nord du Vietnam lors d'études similaires.

##### 8.1.1.1. Calage de la phénologie

Le calage de la phénologie a été réalisé grâce à l'essai mené en 2017 lors du premier cycle cultural. Le semis a eu lieu le 22 mars 2017 et la maturité est intervenue le 29 juin 2017. Le cycle s'est déroulé durant la première moitié de la saison des pluies caractérisée par une pluviométrie abondante et un apport d'engrais. Les parcelles soumis au témoin T1 : absence d'adventices du semis à la récolte ont été considérées comme non limitantes en eau et en éléments nutritifs et ont été utilisées pour le calage de la phénologie.

Le temps thermique cumulé a été calculé pour le cycle cultural. Puis, pour chaque stade phénologique observé, il a été attribué la somme de température correspondante. En ajustant ces valeurs par essai-erreurs, il a été calé la phénologie de manière à ce que les valeurs simulées correspondent à celles observées.

Les constantes thermiques obtenues pour la culture du riz pluvial (NERICA1) sont répertoriées dans le tableau 23.

**Tableau 23: constantes thermiques des différents stades phénologiques**

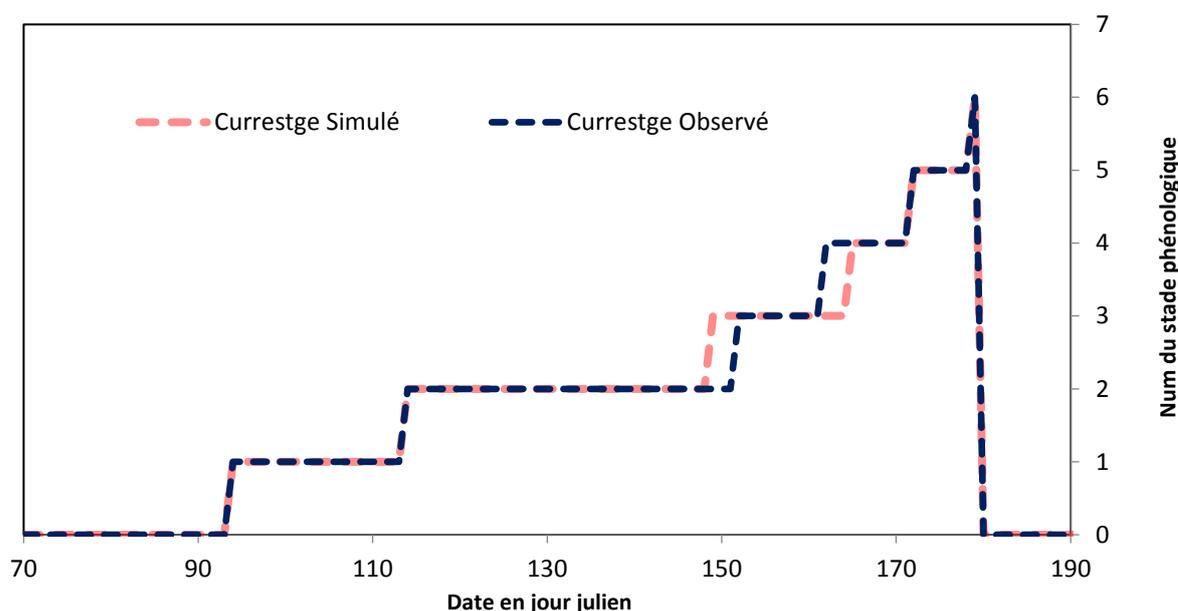
Code du stade	Nom du stade	Constante thermique (°C)
Juv	Levée-montaison	410
Tall	Tallage max-épiaison	720
Flo	Épiaison-Floraison plein	300
Grain	Floraison plein-sénescence	120
Matu	Sénescence-maturité	120

Le nombre de jours simulés, pour chaque stade phénologique, correspond bien au nombre de jours observés (Tableau 24).

**Tableau 24: nombre de jours simulés et observés**

Stade phénologique	Nombre de jours après semis (JAS)	
	Simulés	Observés
Tallage	34	34
Epiaison	69	72
Floraison	85	83
Maturité	99	99

La figure 64 présente, après le calage, les résultats de la simulation de la phénologie sur une parcelle témoin T1 (absence d'adventices du semis à la récolte) durant l'essai semé le 22 mars 2017.



**Figure 64 : simulation de la phénologie sur une parcelle soumise au témoin T1 (absence d'adventices du semis à la récolte) pour le riz semé le 22 mars 2017.**

#### 8.1.1.2 Calage du bilan hydrique et de l'Indice de surface foliaire (LAI)

Les résultats des essais semés le 05 septembre 2016 et le 13 septembre 2017, en conditions d'alimentation hydriques contrastées, ont permis de caler le bilan hydrique. Le calage du bilan hydrique a consisté à déterminer par essais-erreur la valeur des paramètres  $Z_{surf}$ ,  $Z_{mes}$ ,  $epc$ ,  $hcc$ ,  $hmin$ , définis respectivement comme épaisseur de l'horizon concerné par l'évaporation (cm), profondeur de comparaison des stocks simulés avec des mesures, épaisseur de la couche de sol (cm), humidité pondérale à la capacité au champ pour la couche (%), humidité pondérale au point de flétrissement permanent pour la couche. Il a été ajusté au mieux les rendements grains observés aux rendements grains simulés en adaptant à chaque fois les valeurs des

paramètres. Les valeurs obtenues sont : Zsurf = 10 ; Zmes = 200 ; epc = 200 ; hcc = 15 ; hmin = 13.

Le calage de l'Indice de surface foliaire (LAI) a été également réalisé grâce aux résultats de des essais semés le 05 septembre 2016 et le 13 septembre 2017. Le calage du LAI a consisté à déterminer le paramètre dlaimax à partir des paramètres par défaut du modèle. Il a été ajusté au mieux le LAI simulé aux LAIs observés à 45 JAS et à 80 JAS en adaptant à chaque fois la valeur de dlaimax. La valeur du dlaimax qui a été obtenue est de 0,00018 m<sup>2</sup>/°C.

### 8.1.1.3. Calage de la biomasse et du rendement grains

Le calage de la biomasse a été aussi possible grâce aux résultats des essais semés le 05 septembre 2016 et le 13 septembre 2017. Il a consisté à déterminer par essais-erreur la valeur du paramètre ebmax défini comme le coefficient d'efficacité de conversion de la lumière en biomasse. Il a été ajusté au mieux les biomasses simulées aux biomasses observées à 45 JAS et à maturité en adaptant à chaque fois la valeur ebmax. La valeur de ebmax qui a été obtenue est de 2,25.

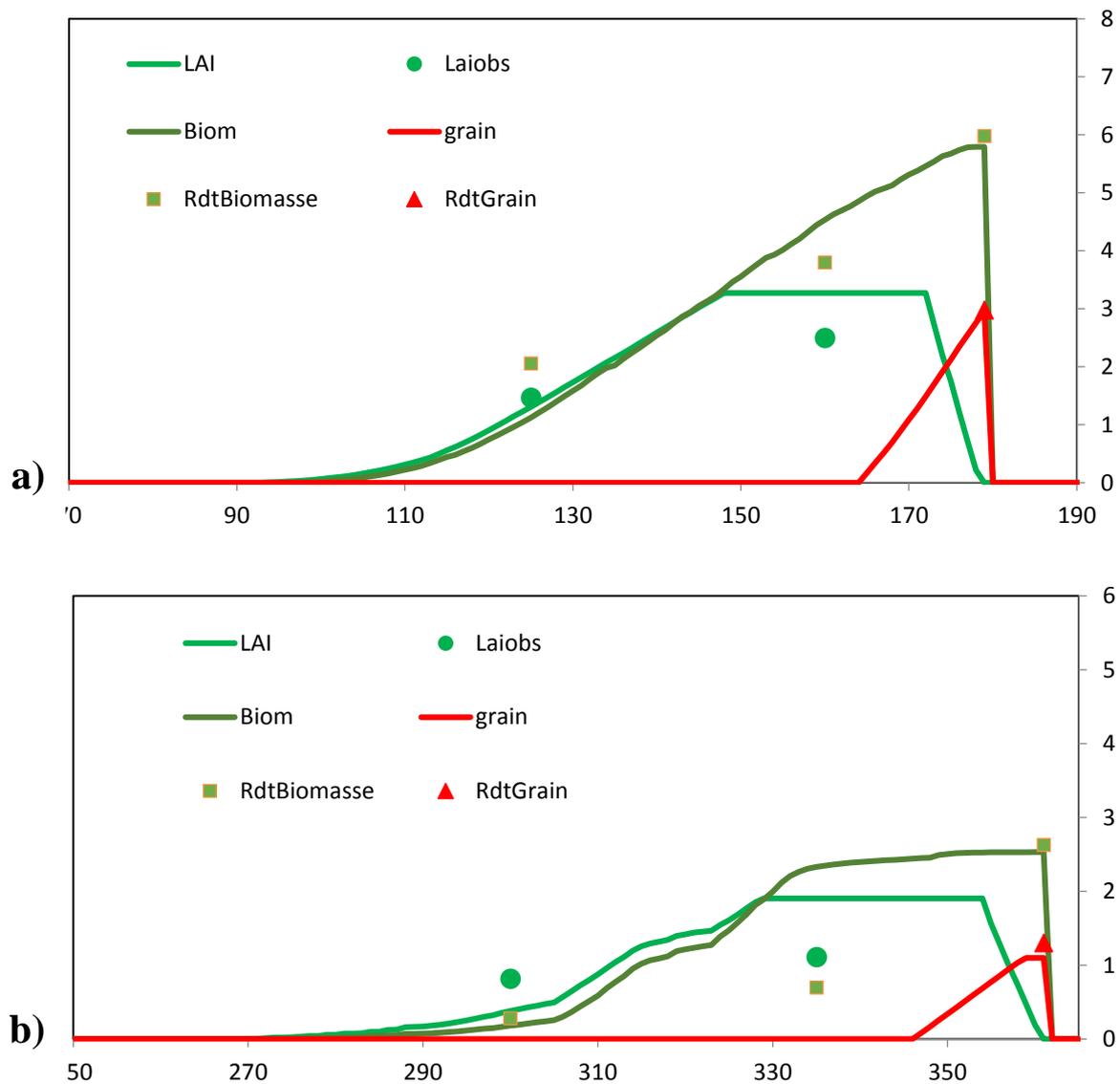
Le calage du rendement a été également fait à partir des résultats des essais semés le 05 septembre 2016 et le 13 septembre 2017. Ce calage a consisté à déterminer par essais-erreur les valeurs des paramètres Nbjgrain, Cgrain, Ngrmax, P1grainMax , vitircarb et Extin. Il a été ajusté au mieux les rendements simulés aux rendements observés. Les valeurs obtenues pour ces paramètres sont les suivantes : Nbjgrain: 30 ; Cgrain : 1000 ; Ngrmax : 1000 ; P1grainMax :0.04 ; vitircarb :0.034 et Extin : 0.60.

Les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), les valeurs des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et les valeurs des indices d'agrément (IA) qui ont été obtenues à l'issu du paramétrage du modèle PYE sont consignés dans le tableau 25.

**Tableau 25 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément après calage du modèle de base PYE**

<b>Variabes</b>	<b>Moyennes Observées</b>	<b>Moyennes Simulées</b>	<b>Nombres d'observations</b>	<b>RMSE</b>	<b>RRMSE (%)</b>	<b>IA</b>
<b>LAI</b>	1,00	0,72	4	0,29	29,57	0,86
<b>Biomasse (T/ha)</b>	1,00	0,99	4	0,15	15,38	0,99
<b>Rendement grain (T/ha)</b>	0,78	0,75	2	0,17	22,27	0,96

La figure 65 présente, après paramétrage du modèle PYE, les résultats de la simulation du LAI, de la biomasse et du rendement sur une parcelle témoin T1 à deux dates de semis différentes.



**Figure 65 : simulation du LAI, de la biomasse ( $T \cdot ha^{-1}$ ) et du rendement ( $T \cdot ha^{-1}$ ) sur une parcelle soumise au traitement T1 (absence d'adventices du semis à la récolte) après paramétrage du modèle PYE pour le riz semé le 22 mars 2017(a) et le 13 septembre 2017(b).**

Au vu des valeurs des erreurs quadratiques moyennes relatives et des valeurs des indices d'agrément (RRMSE inférieurs à 33% et IA proches de 1), le modèle de base PYE a été bien paramétré dans les conditions d'étude et simule convenablement l'indice de surface foliaire (LAI), la biomasse riz et rendement grains du riz. Ce modèle a servi de base à l'élaboration du nouveau modèle PYE-IWM qui prend en compte la population d'adventices et les méthodes de lutte intégrée contre celle-ci.

## 8.1.2. Paramétrage du modèle PYE-IWM

### 8.1.2.1. Calage de la croissance aérienne des adventices

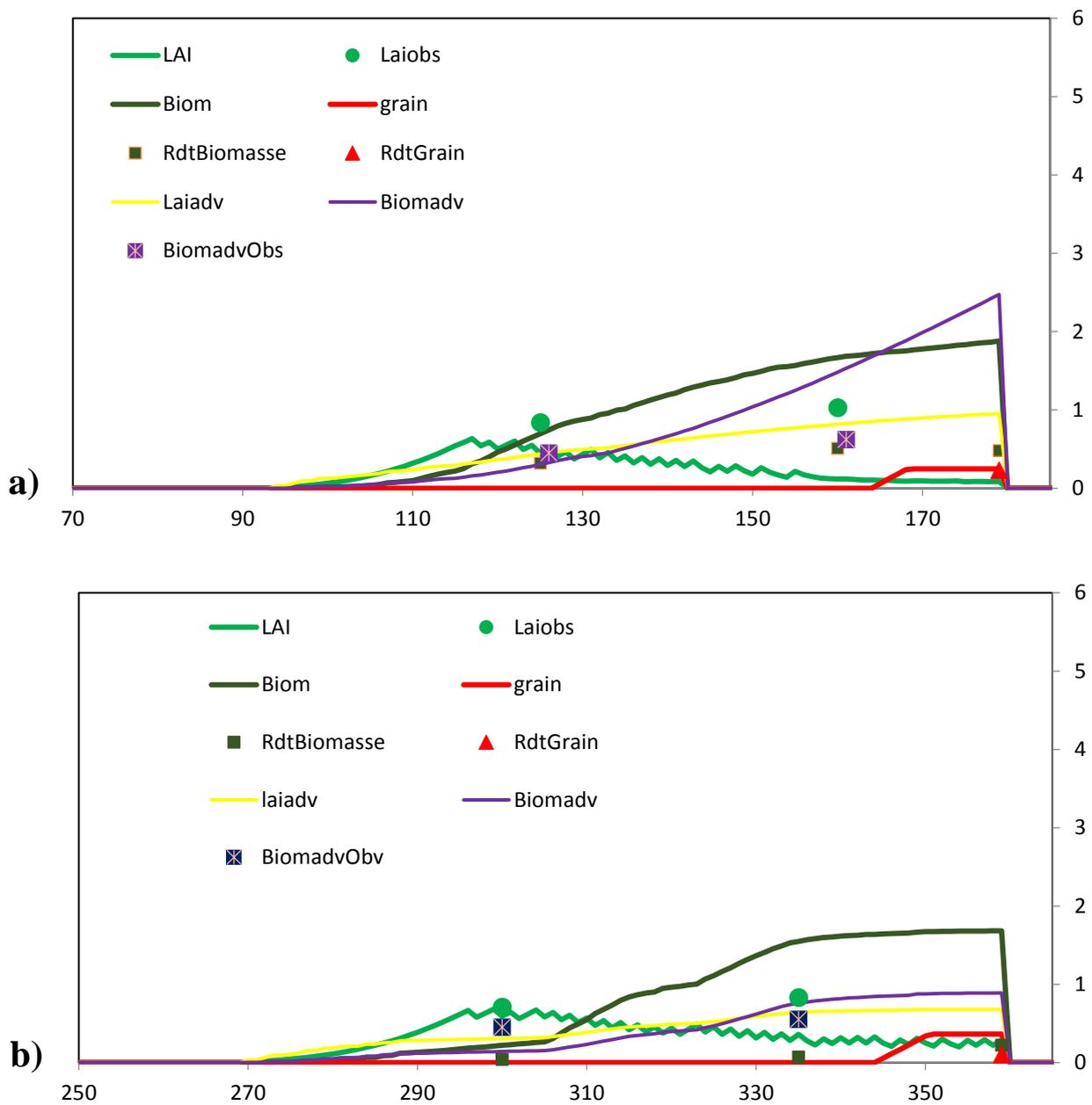
Le calage de l'indice de surface foliaire (Laiadv) et de la biomasse de la population d'adventices (Biomadv) dans le modèle PYE-IWM a consisté à déterminer par essais-erreur les valeurs de dmsadv et de CTadv (constante thermique de la population d'adventices). Pour ce faire, les parcelles sans traitements (T0 : enherbée du semis à la récolte) des essais semés le 05 septembre 2016, le 13 septembre 2017 et le 22 mars 2017 ont été utilisées. Il a été ajusté au mieux les valeurs simulées du lai du riz (lairiz), de la biomasse du riz (biomriz), du rendement grains du riz et de la biomasse de la population d'adventices (biomadv) à celles qui ont été observés. Les résultats obtenus sont : dmsadv = 0,12 et CTadv = 20 000 °C.

Les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des indices d'agrément (IA) sont indiquées dans le tableau 26.

**Tableau 26 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément après le calage de la croissance aérienne des adventices**

Variables	Moyennes Observées	Moyennes Simulées	Nombres d'observations	RMSE	RRMSE	IA
<b>LAI</b>	0,70	0,56	6	0,14	19,52	0,15
<b>Biomasse (T/ha)</b>	0,15	0,46	6	0,33	222,37	0,54
<b>Rendement grain (T/ha)</b>	0,14	0,12	3	0,04	26,83	0,97
<b>BiomAdv(T/ha)</b>	0,50	0,53	3	0,18	35,26	0,59

La figure 66 présente, après le calage de la croissance aérienne des adventices, les résultats de la simulation du LAI, de la biomasse et du rendement du riz ainsi que de la biomasse de la population d'adventices (Biomadv) sur une parcelle soumise au traitement T0 (enherbée du semis à la récolte) à deux dates de semis différentes.



**Figure 66 : simulation du LAI, de la biomasse (t.ha<sup>-1</sup>) et du rendement du riz (t.ha<sup>-1</sup>) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices (t.ha<sup>-1</sup>) sur une parcelle soumise au traitement T0 (enherbée du semis à la récolte) après calage de la croissance aérienne des adventices pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).**

### 8.1.2.2. Calage des effets sarclage, herbicides et paillage sur la population d'adventices

Le calage des effets herbicides (Pré et Post), sarclage et paillage sur la population d'adventices a consisté à déterminer par essais-erreur les valeurs des coefficients d'effet de ces traitements et leurs durées d'action sur la population d'adventices.

- **Calage du coefficient de l'effet sarclage et de sa durée d'action**

Pour le calage du coefficient de l'effet sarclage ( $\alpha$ ) et de sa durée d'action ( $t_\alpha$ ), les résultats des parcelles soumises au témoin T2 : 2 sarclages : 14 JAS + 21 JAS pour les essais semés le 05 septembre 2016, le 13 septembre 2017 et le 22 mars 2017 ont été utilisés.

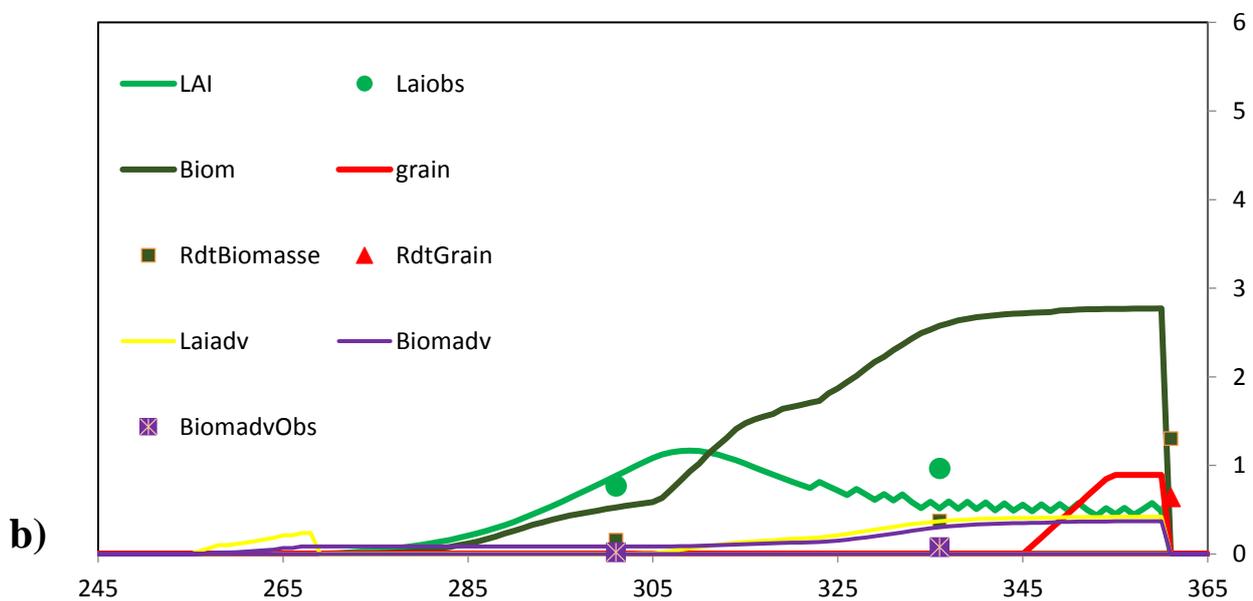
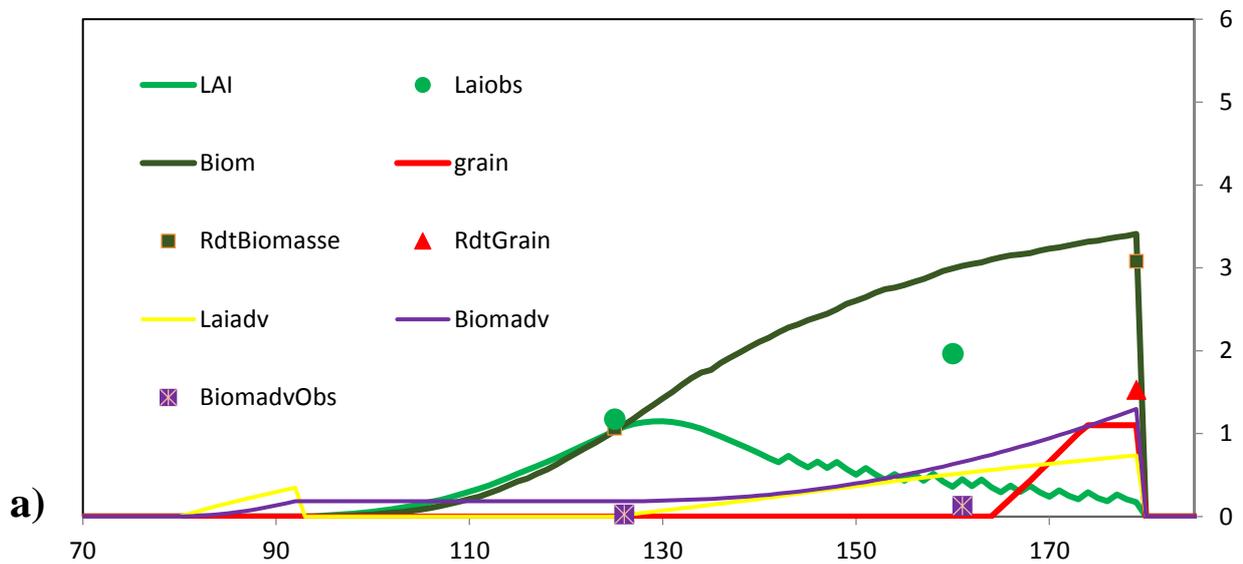
Nous avons ajusté au mieux les valeurs simulées de l'indice foliaire, de la biomasse, du rendement grains et la biomasse de la population d'adventices à ceux des valeurs observées. Les résultats ont donné  $\alpha = 0,001$  comme valeur du coefficient de l'effet sarclage et  $t_\alpha = 25$  jours comme durée de son action.

Les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), les valeurs des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et les valeurs des indices d'agrément (IA) obtenus sont consignés dans la tableau 27.

**Tableau 27 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément après le calage du coefficient de l'effet sarclage et de sa durée d'action**

Variables	Moyennes Observées	Moyennes Simulées	Nombres d'observations	RMSE	RRMSE (%)	IA
LAI	0,97	0,72	6	0,34	35,09	0,26
Biomasse (T/ha)	1,28	1,51	6	0,32	24,80	0,98
Rendement grain (T/ha)	1,09	1,13	3	0,21	19,34	0,91
BiomAdv(T/ha)	0,05	0,19	6	0,15	308,87	0,38

La figure 67 présente, après le calage de l'effet sarclage et de sa durée d'action, les résultats de la simulation du LAI, de la biomasse et du rendement grains du riz ainsi que de la biomasse de la population d'adventices sur une parcelle soumise au témoin T2 (deux sarclages : 14 JAS + 21 JAS) à deux date de semis différentes.



**Figure 67 : simulation du LAI, de la biomasse ( $t \cdot ha^{-1}$ ) et du rendement du riz ( $t \cdot ha^{-1}$ ) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices ( $t \cdot ha^{-1}$ ) sur une parcelle soumise au traitement T2 (2 sarclages : 14 JAS + 21 JAS) après calage de l'effet sarclage pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).**

- **Calage du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et de sa durée d'action**

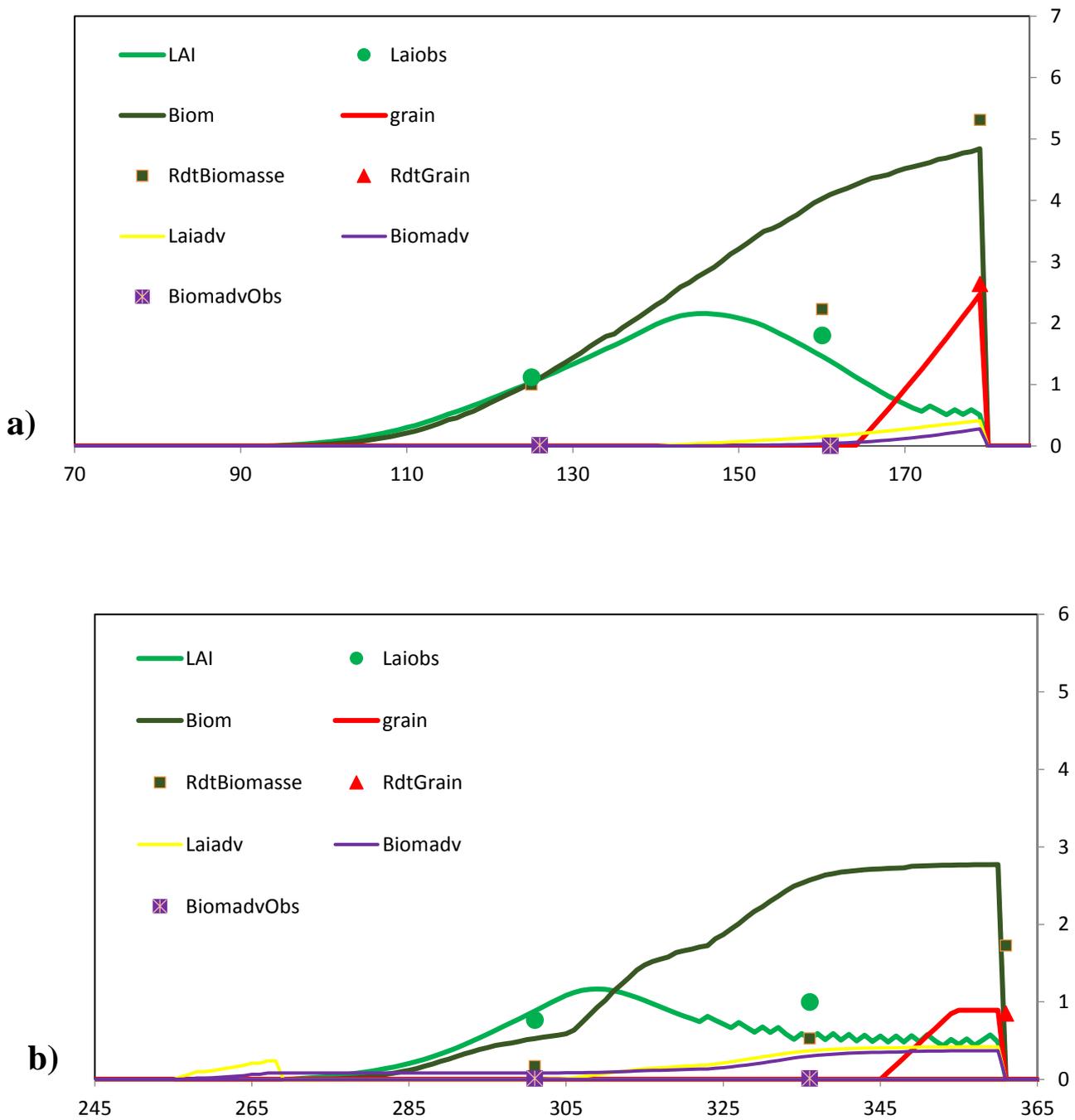
Les sarclages étant déjà calés, les valeurs obtenues pour le sarclage ont été fixées et les résultats des parcelles soumises au traitement T3 : pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS des essais semés le 05 septembre 2016, le 13 septembre 2017 et le 22 mars 2017 ont été utilisés pour le calage du coefficient  $\beta$  de l'effet herbicide de pré-émergence et sa durée d'action ( $t_\beta$ ). Les valeurs simulées de l'indice foliaire, de la biomasse du riz, du rendement grains du riz et de la biomasse de la population d'adventices ont été ajustées au mieux à ceux des valeurs observées. Les résultats ont donné  $\beta = 0,01$  comme valeur du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et  $t_\beta = 60$  jours comme sa durée d'action.

Les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des indices d'agrément (IA) sont données par le tableau 28.

**Tableau 28 : valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément (IA) après le calage du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et de sa durée d'action**

<b>Variabes</b>	<b>Moyennes Observées</b>	<b>Moyennes Simulées</b>	<b>nombre d'observations</b>	<b>RMSE</b>	<b>RRMSE</b>	<b>IA</b>
<b>LAI</b>	1,18	0,98	6	0,27	22,61	0,86
<b>Biomasse (T/ha)</b>	0,93	1,44	6	0,64	68,16	0,85
<b>Rendement grain (T/ha)</b>	1,75	1,70	3	0,10	5,90	0,99
<b>BiomAdv(T/ha)</b>	0,01	0,08	6	0,10	830,35	0,05

La figure 68 présente, après le calage du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et de sa durée d'action, les résultats de la simulation du LAI, de la biomasse et du rendement du riz ainsi que de la biomasse de la population d'adventices sur une parcelle soumise au traitement T3 (pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS) à deux date de semis différentes.



**Figure 68 : simulation du LAI, de la biomasse ( $t \cdot ha^{-1}$ ) et du rendement du riz ( $t \cdot ha^{-1}$ ) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices ( $t \cdot ha^{-1}$ ) sur une parcelle soumise au traitement T3 (pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS) après le calage du coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence et de sa durée d'action pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).**

- **Calage du coefficient de l'effet herbicide de post-émergence et de sa durée d'action**

Les résultats issus de la parcelle soumise au traitement T8 : Sarclage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : 14JAS+30JAS pour les essais semés le 13 septembre 2017 et le 22 mars 2017 ont servi au calage de l'herbicide de post-émergence.

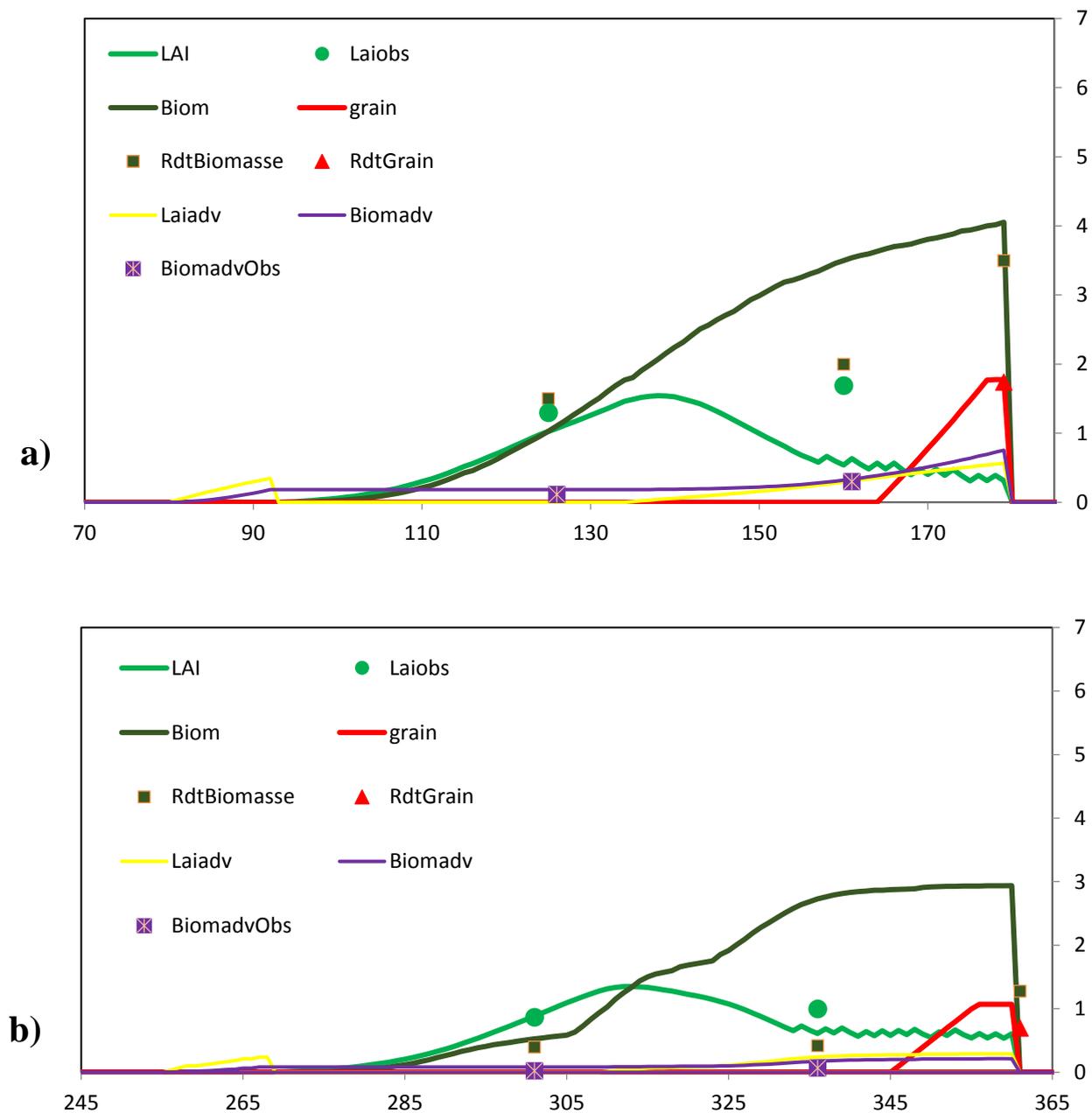
Le sarclage étant déjà calé, ses paramètres ont été fixés puis les valeurs simulées de l'indice foliaire, de la biomasse du riz, du rendement grains du riz et la biomasse de la population d'adventices ont été ajustées au mieux à celles observées. Les résultats ont donné  $\mu = 0,5$  comme valeur du coefficient d'effet herbicide de post-émergence et  $t_{\mu} = 25$  jours comme durée de son action.

Les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des indices d'agrément (IA) sont données par le tableau 29.

**Tableau 29: valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément (IA) après le calage du coefficient de l'effet herbicide de post-émergence et de sa durée d'action**

Variables	Moyennes Observées	Moyennes Simulées	Nombres d'observations	RMSE	RRMSE (%)	IA
<b>LAI</b>	1,09	0,85	4	0,28	25,40	0,61
<b>Biomasse (T/ha)</b>	1,81	1,86	4	0,43	23,90	0,98
<b>Rendement grain (T/ha)</b>	1,19	1,39	2	0,26	22,11	0,93
<b>BiomAdv(T/ha)</b>	0,12	0,21	4	0,08	70,03	0,98

La figure 69 présente, après le calage du coefficient de l'effet herbicide de post-émergence et de sa durée d'action, les résultats de la simulation du LAI, de la biomasse du riz, du rendement du riz ainsi que de la biomasse de la population d'adventices sur une parcelle soumise au traitement T8 : Sarclage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : 14JAS+30JAS à deux dates de semis différentes.



**Figure 69 : simulation du LAI, de la biomasse ( $t.ha^{-1}$ ) et du rendement du riz ( $T.ha^{-1}$ ) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices ( $t.ha^{-1}$ ) sur une parcelle soumise au traitement T8 : Sarclage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : 14JAS+30JAS après le calage du coefficient de l'effet herbicide de post-émergence et de sa durée d'action pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).**

- **Calage du coefficient de l'effet paillage et de sa durée d'action**

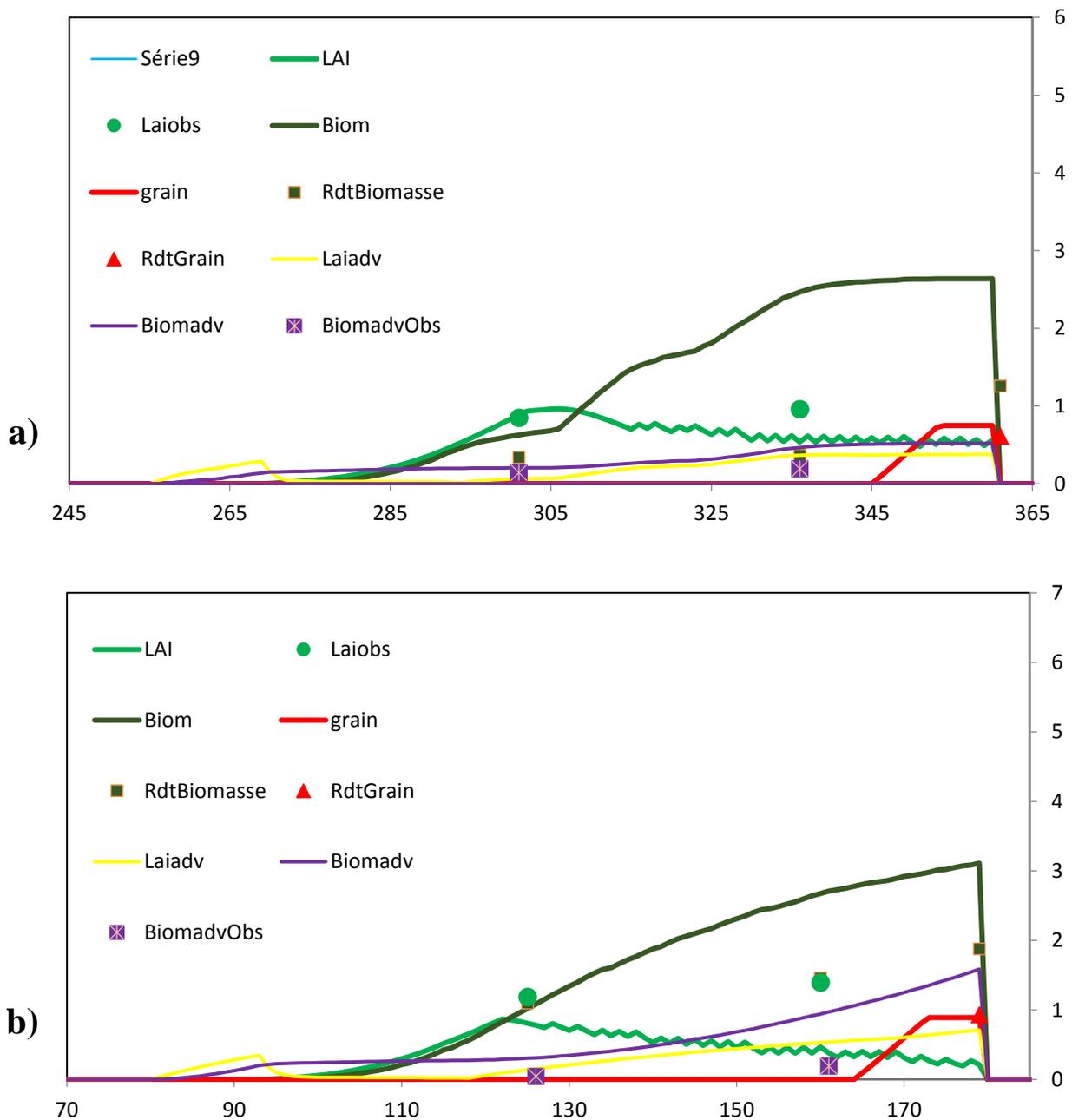
Les résultats issus de la parcelle T9 : Paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : -1JAS+14JAS pour les essais semés le 05 septembre 2016, le 13 septembre 2017 et le 22 mars 2017 ont servi au calage du paillage. L'herbicide de post-émergence étant déjà calé, ses paramètres ont été fixés puis les valeurs simulées de l'indice foliaire, de la biomasse riz, du rendement grains et la biomasse de la population d'adventices ont été ajustées au mieux à celles observées. Il a été obtenu la valeur de  $\pi = 0,99$  pour le coefficient d'effet paillage et de  $t_\pi = 90$  jours pour la durée de son action.

Les valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE), et des indices d'agrément (IA) ont été inscrites dans le tableau 30.

**Tableau 30: valeurs des erreurs quadratiques moyennes (RMSE), des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des Indices d'agrément (IA) après le calage du coefficient de l'effet paillage et de sa durée d'action**

<b>Variabes</b>	<b>Moyennes Observées</b>	<b>Moyennes Simulées</b>	<b>Nombres d'observations</b>	<b>RMSE</b>	<b>RRMSE (%)</b>	<b>IA</b>
<b>LAI</b>	1,00	0,75	6	0,29	29,46	0,38
<b>Biomasse (T/ha)</b>	1,11	1,58	6	0,73	65,80	0,83
<b>Rendement grain (T/ha)</b>	0,77	0,78	3	0,10	12,88	0,82
<b>BiomAdv(T/ha)</b>	0,18	0,377	6	0,23	130,52	0,19

La figure 70 présente, après le calage du coefficient de l'effet paillage et de sa durée d'action, les résultats de la simulation du LAI, de la biomasse et du rendement du riz ainsi que de la biomasse de la population d'adventices sur une parcelle soumise au traitement T9 : Paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : -1JAS+14JAS à deux dates de semis différentes.



**Figure 70 : simulation du LAI, de la biomasse( $t.ha^{-1}$ ) et du rendement du riz ( $t.ha^{-1}$ ) ainsi que de la biomasse de la population d'adventices sur une parcelle soumise au traitement T9 : Paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) : -1JAS+14JAS après le calage du coefficient de l'effet paillage et de sa durée d'action pour d'action pour le riz semé le 22 mars 2017 (a) et le 13 septembre 2017(b).**

Au regard des valeurs des erreurs quadratiques moyennes relatives (RRMSE) et des valeurs des indices d'agrément (IA), les paramètres les mieux simulés par le modèle PYE-IWM sont, par ordre décroissant, le Rendement grains (T/ha), l'Indice de surface foliaire (LAI), la Biomasse riz (T/ha) et la Biomasse adventice (T/ha).

Au vu des résultats du paramétrage des modèles PYE et PYE-IWM, les expérimentations virtuelles réalisées dans la suite de cette étude ont porté uniquement sur le rendement grains du riz pluvial dont le calage a été satisfaisant aussi bien avec le modèle PYE qu'avec le modèle PYE-IWM.

Les valeurs des principaux paramètres qui ont été utilisés dans les modèles PYE et PYE-IWM sont consignés dans le tableau 31.

**Tableau 31 : valeurs des principaux paramètres utilisés dans les modèles PYE et PYE-IWM**

Nom du Paramètre	Description	Valeur
Tdmin	Température minimum pour le développement (°C)	9
Tdmax	Température maximum pour le développement (°C)	40
Tdopt	Température optimum pour le développement (°C)	30
Tcmin	Température base de la conversion de lumière en biomasse (°C)	10
tcmax	Température maximale de la conversion de lumière en biomasse (°C)	42
tcopt	Température optimale de la conversion de lumière en biomasse (°C)	29
Tcold	Température seuil de sensibilité au froid (°C)	9
NDieCold	Nombre maximal de jours inférieurs à Tcold supportable par la culture sans mortalité	5
Kext	Coefficient d'extinction du rayonnement	0,5
dLAI <sub>max</sub>	Vitesse de croissance maximale de la surface foliaire d'une plante par degré (m <sup>2</sup> .°C <sup>-1</sup> )	0.00018
LAI <sub>mat</sub>	LAI résiduel à maturité	0
Eb <sub>max</sub>	Coefficient de conversion maximale du rayonnement	2,25
H <sub>max</sub>	Indice de récolte maximal	0,5
Pl <sub>grainMax</sub>	Poids maximal de 1 grain (g)	0,04
Ngr <sub>max</sub>	Nombre maximal de grains par plante	1000
Vitircarb	Augmentation journalière de l'indice de récolte (gDM.d-1)	0,034
C <sub>grain</sub>	Coefficient empirique de croissance journalière du nombre de grains pendant la durée de remplissage des grains, par unité de matière sèche produite à cette période (gMS <sup>-1</sup> )	855
C <sub>grainv0</sub>	Nombre de grains mis en place si croissance nulle pendant la durée de remplissage des grains (grains.m <sup>2</sup> )	-1775
K <sub>max</sub>	Coefficient cultural maximal (avec ETP Penman)	1,12
Pfactor	Seuil d'action de la contrainte hydrique sur la transpiration	0,45
SeuilTurg	Seuil d'effet de la contrainte hydrique sur la croissance du LAI	0,45
SeuilWS	Seuil d'effet de la contrainte hydrique sur la croissance de la biomasse	0,35
DeltaRacMax	Croissance du front racinaire par unité de temps thermique (cm/°Cjour)	0,08
Zrac <sub>max</sub>	Cote maximale atteignable par les racines (m)	1
Z <sub>ger</sub>	Épaisseur de l'horizon du sol considéré pour la levée (cm)	15
T <sub>ger</sub>	Température de base pour la germination et levée (°C)	8
CTL	Constante thermique à la date de levée (degrés-jours)	115
a <sub>Ger</sub>	Seuil de condition hydrique potentielle pour la germination	0,14
α	Coefficient de l'effet sarclage	0,001
t <sub>α</sub>	Durée d'action de l'effet sarclage	25
β	Coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence	0,01
t <sub>β</sub>	Durée d'action de l'effet herbicide de pré-émergence	60
μ	Coefficient de l'effet herbicide de post-émergence	0,5
t <sub>μ</sub>	Durée d'action de l'effet herbicide de post-émergence	25
π	Coefficient de l'effet paillage	0,99
t <sub>π</sub>	Durée d'action de l'effet paillage	90

### **8.1.3. Évaluation des méthodes de lutte sous une longue série climatique**

Le tableau 32 donne les résultats des rendements simulés pour dix campagnes agricoles (2008-2017) avec le modèle PYE-IWM et la figure 71 donne les représentations graphiques des résultats des simulations des traitements pour la campagne agricole de 2017.

Les années étant considérées comme des répétitions, les résultats de l'analyse de variance ont montré qu'il y a un effet traitement au seuil de 5% sur le rendement grains et le test de Fisher a montré que le témoin T1 a permis d'obtenir le rendement grains le plus élevé de moyenne 2450 kg/ha. Il était différent du traitement T0 pour qui le rendement grains le plus faible de moyenne 17,50 kg/ha a été observé. Les autres traitements ont permis d'obtenir des rendements grains intermédiaires, compris entre 405,78 et 1832 kg/ha, dont celui obtenu par le traitement T4 de moyenne 1832 kg/ha qui n'était pas différent de celui obtenu par le témoin T1 ni de ceux obtenus par les traitements T3 et T6.

L'expérimentation virtuelle indique que les traitements qui ont obtenu les performances, dans l'ordre décroissant d'efficacité, sont T1, T4, T3, T6, T5, T7, T8, T2, T9 et T0.

**Tableau 32 : rendements simulés de dix campagnes agricoles (2008-2017) suivant les traitements (semis du 6 avril)**

Traitements	Rendements simulés (t.ha <sup>-1</sup> )										Moyennes
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
<b>T0</b>	0,06	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,01	<b>0,02 a</b>
<b>T1</b>	3,46	3,12	2,49	1,97	2,32	2,47	0,90	2,67	2,57	2,54	<b>2,45 e</b>
<b>T2</b>	1,05	0,84	0,66	0,27	0,56	0,83	0,00	0,76	0,88	0,69	<b>0,65 b</b>
<b>T3</b>	2,44	2,18	1,91	1,05	1,69	1,77	0,62	2,00	2,17	1,98	<b>1,78 d</b>
<b>T4</b>	2,51	2,25	1,96	1,09	1,74	1,83	0,64	2,06	2,21	2,03	<b>1,83 d</b>
<b>T5</b>	1,71	1,66	1,27	0,68	1,16	1,07	0,38	1,30	1,59	1,36	<b>1,22 c</b>
<b>T6</b>	1,79	1,80	1,26	0,74	1,24	1,05	0,39	1,34	1,56	1,40	<b>1,23 c</b>
<b>T7</b>	1,63	1,60	1,12	0,66	1,14	1,01	0,30	1,20	1,44	1,27	<b>1,14 c</b>
<b>T8</b>	1,54	1,46	1,15	0,61	1,07	1,02	0,29	1,16	1,45	1,21	<b>1,10 c</b>
<b>T9</b>	0,68	0,54	0,41	0,08	0,34	0,50	0,00	0,52	0,55	0,43	<b>0,41 ab</b>

**T0 : Enherbé du semis à la récolte; T1 : Parcelles maintenues propres du semis à la récolte ; T2 : 2 sarclages ; T3 pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage; T4 : pré-émergence ( 400 g/l d' Oxadiargyl ) + sarclage + paillage; T5 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage ; T6 : post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) + sarclage + paillage; T7 : sarclage + paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) ; T8 : Sarclage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr) T9 : Paillage + post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr). Les valeurs suivies de la même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.**

#### 8.1.4. Évaluation économique des traitements après la simulation de dix années

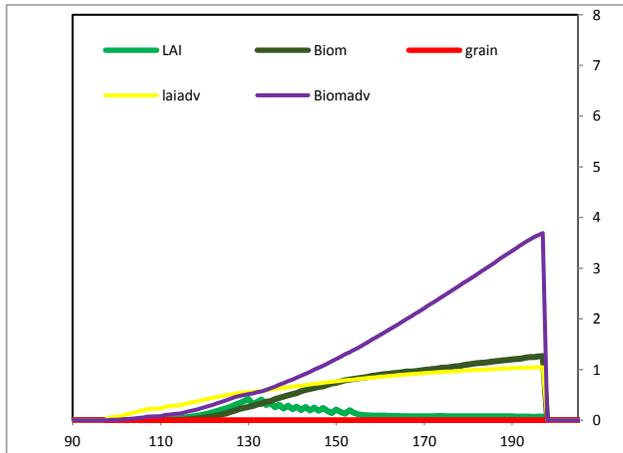
L'analyse économique des traitements simulés, reportée au tableau 34, révèle que le témoin T1 a permis d'obtenir la plus grande valeur de Marge Brute (365 500 F CFA) tandis que le témoin T0 a obtenu la valeur la plus faible (2 625 F CFA). Le classement des traitements intermédiaires a donné, par ordre d'importance, le traitement T4 (274 749 F CFA), T3 (267 144 F CFA), T6 (188 754 F CFA), T5 (182 814 F CFA), T7 (170 766 F CFA), T8 (164 334), T2 (97 767 F CFA) et T9 (60 867 F CFA). En déduisant des Marges Brutes (MB) les coûts relatifs au désherbage, il a été obtenu les Marges Nettes (MN). L'analyse de ces Marges Nettes (MN) a révélé que le traitement T3 a permis d'obtenir la plus grande Marge Nette (199 144 F CFA/ha) et que le témoin T1 a permis d'obtenir la plus petite Marge Nette (-192 500 F CFA). Le classement des traitements intermédiaires, donne par ordre d'importance le traitement T4 (126 749 F CFA/ha), T5 (122 814 F CFA), T8 (104 334 F CFA), T6 (48 754 F CFA), T7 (30 766 F CFA), T2 (27 767 F CFA), T0 (2 625 F CFA) et T9 (-44 133 F CFA).

Les Marges Nettes négatives, obtenues avec les traitements T1 et T9, indiquent que les ressources obtenues avec ces traitements n'ont pas permis de couvrir les charges relatives à la mise en œuvre du désherbage. Le témoin T1 a eu le coût de désherbage le plus élevé (560 000 F CFA/ha), il est suivi du traitement T4 (148 000 F CFA/ha) puis des traitements T6 et T7 (140 000 F CFA/ha). Les coûts du désherbage ont été, par ordre de grandeur, de 80 000 F CFA/ha pour le paillage, 35 000 F CFA/ha pour le sarclage manuel, 33 000 F CFA/ha pour l'herbicide de pré-émergence et de 25 000 F CFA/ha pour l'herbicide de post-émergence.

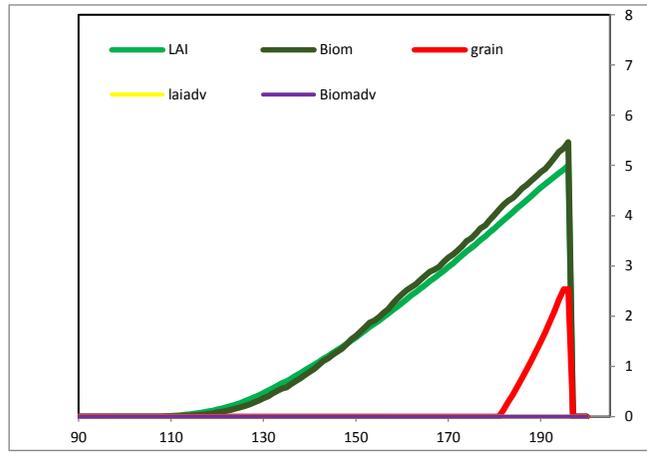
L'expérimentation virtuelle indique, qu'en ce qui concerne l'effet des traitements sur l'accroissement des rendements, on a, dans l'ordre décroissant de performance, T1, T4, T3, T6, T5, T7, T8, T2, T9 et T0. Cependant, concernant la rentabilité économique, l'on a, par ordre décroissant T3, T4, T5, T8, T6, T7, T2, T0, T9 et T1. Ces résultats confirment les résultats de l'expérimentation au champ qui ont montré que le traitement T3 est le plus rentable dans la zone d'étude.

**Tableau 33 : évaluation économique des traitements après la simulation de dix campagnes agricoles**

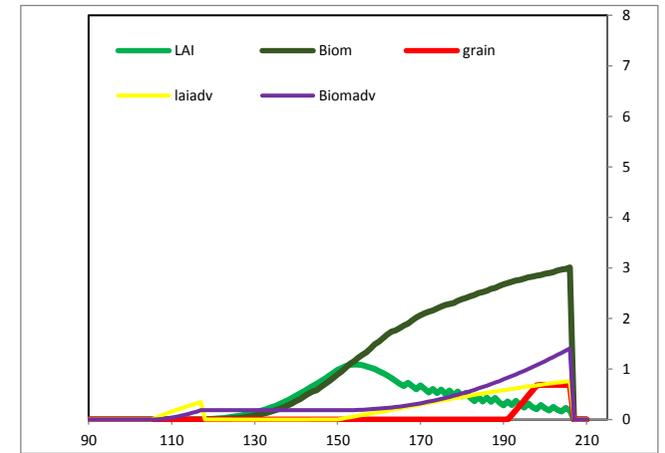
Label	Traitements	Coût de l'herbicide (FCFA/ha)	Coût de la Main d'œuvre pour la pulvérisation (FCFA/ha)	Coût du sarclage (F CFA/ha)	Coût de la paille + transport (F CFA/ha)	Coût de la main d'œuvre pour le paillage (F CFA/ha)	Coût total du désherbage ( F CFA/ha)	Rendement (Kg/ha)	Prix de vente du kg de riz paddy (F CFA)	Marge Brute (F CFA/ha)	Marge Nette (F CFA/ha)
<b>T0</b>	Enherbée du semis à la récolte	0	0	0	0	0	<b>0</b>	17,50	150	<b>2 625</b>	<b>2 6 25</b>
<b>T1</b>	Parcelle maintenue propre du semis à la récolte	0	0	560 000	0	0	<b>560 000</b>	2450	150	<b>365 500</b>	<b>-192 500</b>
<b>T2</b>	2 sarclages	0	0	70 000	0	0	<b>70 000</b>	651,78	150	<b>97 767</b>	<b>27 767</b>
<b>T3</b>	Herbicide de pré-émergence + sarclage	28 000	5 000	35 000	0	0	<b>68 000</b>	1780,96	150	<b>267 144</b>	<b>199 144</b>
<b>T4</b>	Herbicide de pré-émergence + sarclage + paillage	28 000	5 000	35 000	30 000	50 000	<b>148 000</b>	1831,66	150	<b>274 749</b>	<b>126 749</b>
<b>T5</b>	Herbicide de post-émergence + sarclage	20 000	5 000	35 000	0	0	<b>60 000</b>	1218,76	150	<b>182 814</b>	<b>122 814</b>
<b>T6</b>	Herbicide de post-émergence + sarclage + paillage	20 000	5 000	35 000	30 000	50 000	<b>140 000</b>	1258,36	150	<b>188 754</b>	<b>48 754</b>
<b>T7</b>	Sarclage + paillage + herbicide de post-émergence	20 000	5 000	35 000	30 000	50 000	<b>140 000</b>	1138,44	150	<b>170 766</b>	<b>30 766</b>
<b>T8</b>	Sarclage + post-émergence	20 000	5 000	35 000	0	0	<b>60 000</b>	1095,56	150	<b>164 334</b>	<b>104 334</b>
<b>T9</b>	Paillage + post-émergence	20 000	5 000	0	30 000	50 000	<b>105 000</b>	405,78	150	<b>60 867</b>	<b>-44 133</b>



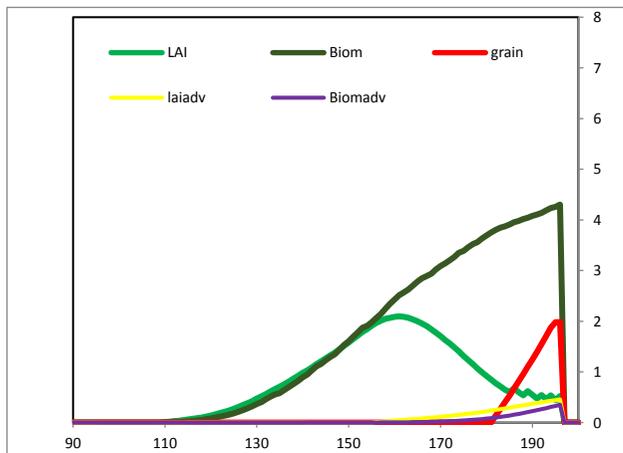
Parcelle soumise au traitement T0



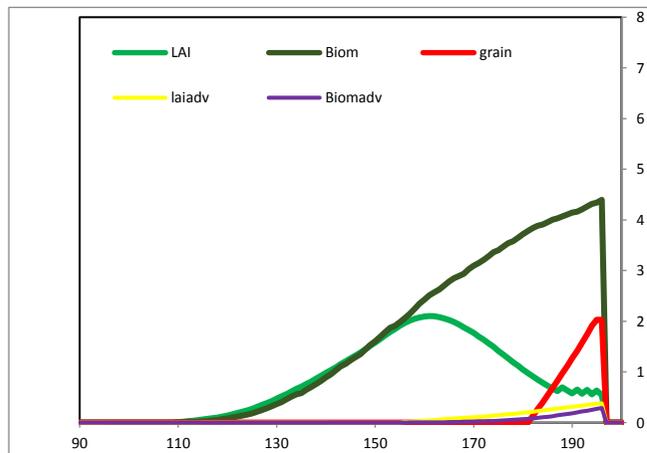
Parcelle soumise au traitement T1



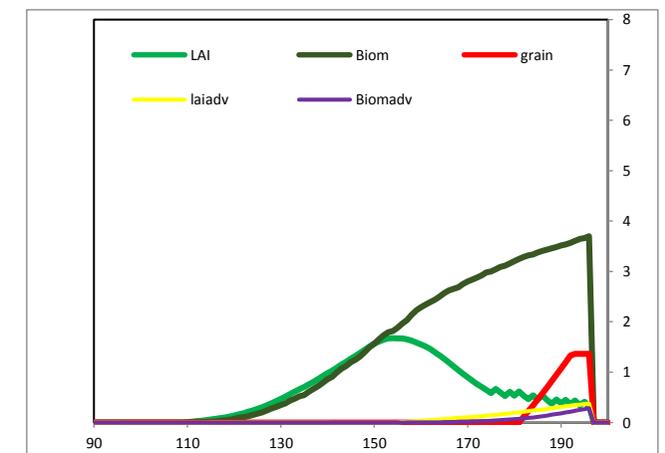
Parcelle soumise au traitement T2



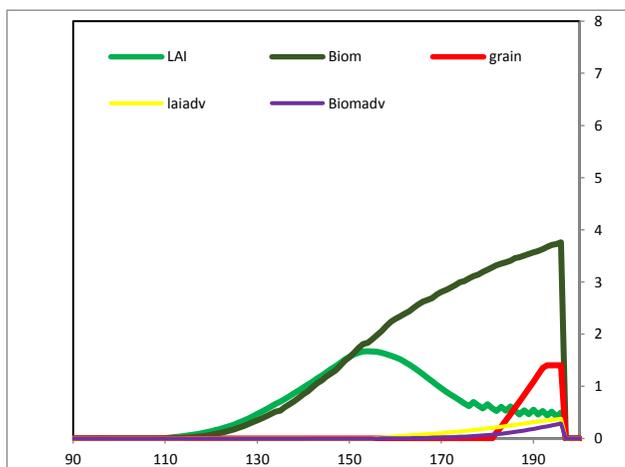
Parcelle soumise au traitement T3



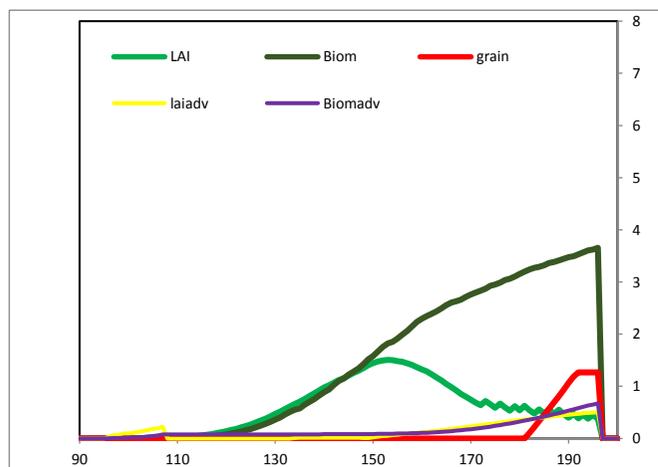
Parcelle soumise au traitement T4



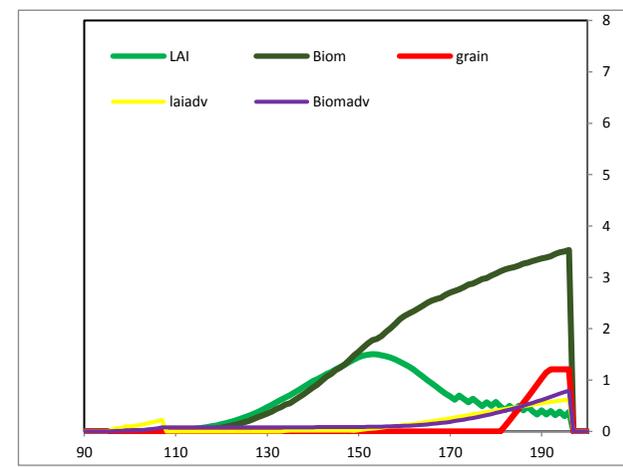
Parcelle soumise au traitement T5



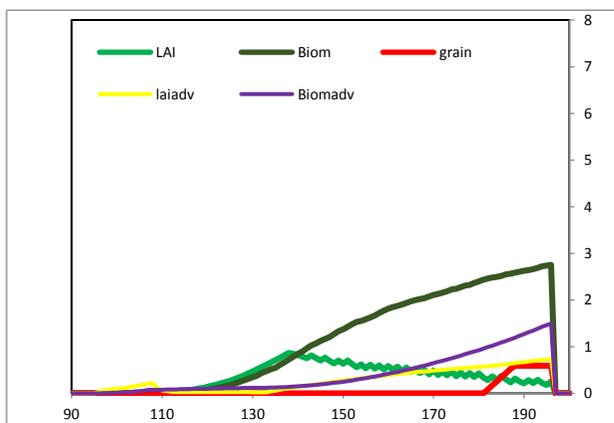
Parcelle soumise au traitement T6



Parcelle soumise au traitement T7



Parcelle soumise au traitement T8



Parcelle soumise au traitement T9

**Figure 71 : représentations graphiques des résultats des simulations de la campagne agricole de 2017 (semis le 06 avril 2017)**

### **8.1.5. Impact de la variabilité du stress hydrique sur le rendement du riz pluvial**

La variabilité climatique de la zone d'étude se caractérisant principalement par la variabilité des précipitations, l'impact de cette variabilité sur le rendement du riz pluvial a été analysé à travers celui de la variabilité du stress hydrique sur le rendement.

A l'aide du modèle de base PYE, le rendement potentiel du riz, c'est à dire le rendement du riz pluvial sans stress  $Y_0$  a été simulé sous une série climatique historique de dix ans (2008-2017). Par la suite, le rendement avec stress hydrique  $Y_w$  a été également simulé pour cette même série climatique historique. Pour chaque année, on a simulé le rendement potentiel  $Y_0$  et le rendement avec stress  $Y_w$ . L'impact de la variabilité du stress hydrique sur le rendement a été déterminé d'une part en mesurant l'écart entre le rendement potentiel  $Y_0$  et le rendement avec stress hydrique  $Y_w$  et d'autre part en comparant la variabilité des deux rendements.

Les résultats indiquent que pour le semis effectué en période optimale de semis, les rendements potentiels ( $Y_0$ ) simulés ont varié entre 1,10 et 3,75 T.ha<sup>-1</sup> avec une moyenne de 2,73 T.ha<sup>-1</sup> et un coefficient de variation de 0,243, tandis que les rendements avec stress hydrique ( $Y_w$ ) ont varié entre 0,49 et 2,99 T.ha<sup>-1</sup> avec une moyenne de 1,91 T.ha<sup>-1</sup> et un coefficient de variation de 0,316 (Tableaux 34 et 36). Pour le semis effectué en dehors de la période optimale de semis, les rendements potentiels ( $Y_0$ ) simulés sans stress hydrique ont varié entre 2,44 et 4,43 T.ha<sup>-1</sup> avec une moyenne de 3,91 T.ha<sup>-1</sup> et un coefficient de variation de 0,166, tandis que les rendements ( $Y_w$ ) simulés avec stress hydrique ont varié entre 0,00 et 1,10 T.ha<sup>-1</sup>, avec une moyenne de 0,36 T.ha<sup>-1</sup>, et un coefficient de variation de 0,925 (Tableaux 35 et 37)

La variabilité interannuelle du stress hydrique est responsable des pertes de rendement allant de 20 à 55%, avec une moyenne de 32%, pour le semis effectué pendant la période optimale de semis et de 74 à 100%, avec une moyenne de 91%, pour le semis effectué en dehors de cette période (Tableaux 34 et 35). La variabilité du stress hydrique est aussi responsable d'une part non négligeable de la variabilité interannuelle des rendements. En effet, les coefficients de variation des rendements avec stress ont été nettement supérieurs à ceux des rendements sans stress hydrique. Pour le semis effectué sur la période optimale de semis, il est de 0,316 avec stress contre 0,243 sans stress et pour le semis en dehors de la période optimale de semis, il est de 0,925 avec stress contre 0,166 sans stress (Tableaux 36 et 37; Figures 72 et 73).

**Tableau 34 : rendements potentiels (Y0) et Rendements avec stress hydrique (Yw) simulés à l'aide de PYE (semis: 27 mars)**

Années	Rendement potentiel Y0 (t.ha <sup>-1</sup> )	Rendement avec stress hydrique Yw (t.ha <sup>-1</sup> )	perte de rendement due au stress hydrique (%)
2008	3,75	2,99	-20
2009	3,39	2,33	-31
2010	2,73	1,72	-37
2011	2,56	1,94	-24
2012	2,66	2,06	-23
2013	2,37	1,60	-32
2014	1,10	0,49	-55
2015	2,96	1,73	-42
2016	2,86	2,06	-28
2017	2,91	2,16	-26
<b>MOYENNE</b>	<b>2,73</b>	<b>1,91</b>	<b>-32</b>

**Tableau 35 : rendements potentiels (Y0) et Rendements avec stress hydrique (Yw) simulés à l'aide de PYE (semis: 13 septembre)**

Années	Rendement potentiel (t.ha <sup>-1</sup> )	Rendement atteignable (t.ha <sup>-1</sup> )	perte de rendement due au stress hydrique (%)
2008	3,30	0,54	-84
2009	3,24	0,00	-100
2010	4,41	0,59	-87
2011	2,44	0,00	-100
2012	4,46	0,58	-87
2013	4,42	0,28	-94
2014	4,03	0,14	-97
2015	4,43	0,00	-100
2016	4,18	0,40	-90
2017	4,18	1,10	-74
<b>MOYENNE</b>	<b>3,91</b>	<b>0,36</b>	<b>-91</b>

**Tableau 36 : statistiques des rendements potentiels et atteignables simulés avec PYE (semis: 27 mars)**

Statistique	Rendement potentiel (T.ha <sup>-1</sup> )	Rendement atteignable (T.ha <sup>-1</sup> )
Nombre d'observations	10	10
Minimum	1,100	0,490
Maximum	3,750	2,990
Moyenne	2,728	1,908
Variance (n)	0,439	0,363
Écart-type (n)	0,663	0,603
Coefficient de variation	0,243	0,316

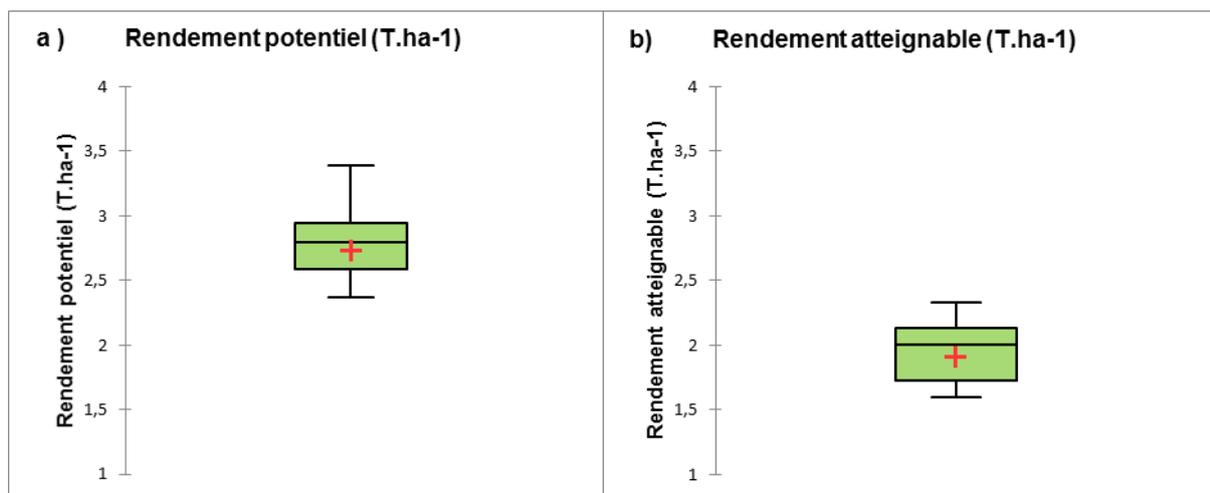


Figure 72 : comparaison entre la variabilité du rendement potentiel (a) et celle du rendement atteignable (b). (Semis : 27 mars)

Tableau 37 : statistiques des rendements potentiels et atteignables simulés avec PYE ( semis: 13 septembre)

Statistique	Rendement potentiel (T.ha <sup>-1</sup> )	Rendement atteignable (T.ha <sup>-1</sup> )
Nombre d'observations	10	10
Minimum	2,440	0,000
Maximum	4,460	1,100
Moyenne	3,909	0,363
Variance (n)	0,423	0,113
Écart-type (n)	0,650	0,336
Coefficient de variation	0,166	0,925

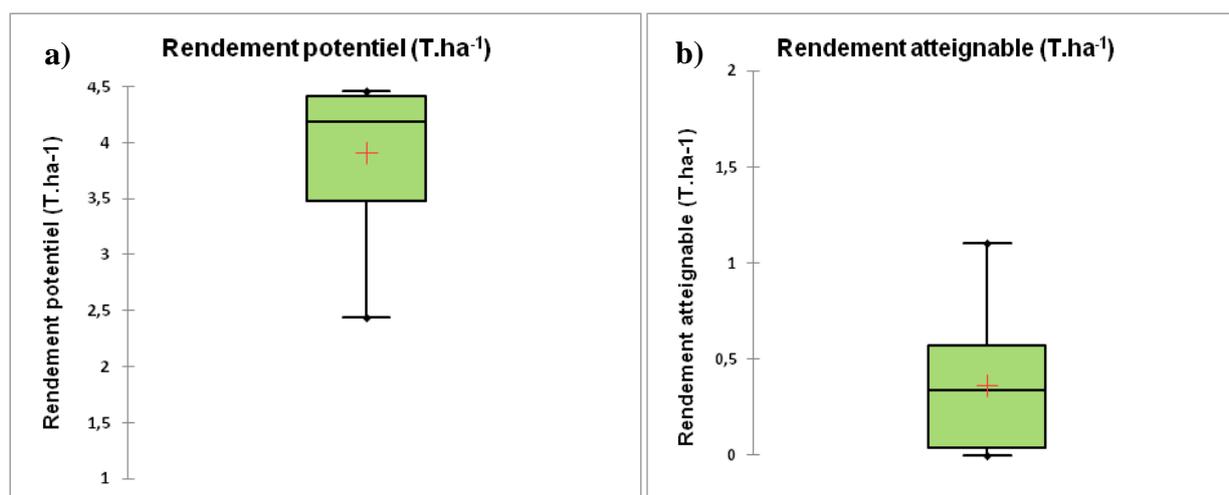


Figure 73 : comparaison entre la variabilité du rendement potentiel (a) et celle du rendement atteignable (b). (Semis : 13 septembre)

### 8.1.6. Impact de la variabilité du cumul pluviométrique sur le rendement du riz pluvial

La variabilité climatique de la zone d'étude se caractérisant principalement par la variabilité des précipitations, l'impact de la variabilité climatique de cette zone sur le rendement du riz pluvial a été analysé à travers celui de la variabilité du cumul pluviométrique sur le rendement.

A l'aide du modèle PYE-IWM, qui prend en compte la population d'adventices et les méthodes de lutte contre celle-ci, les rendements du riz pluvial ont été simulés, pour chaque traitement, sous une série climatique historique de dix ans (2008-2017). L'impact de la variabilité du cumul pluviométrique a été déterminé en analysant la variabilité des rendements obtenus.

Les résultats ont indiqué que la variabilité du cumul pluviométrique a entraîné, une variabilité des rendements pour tous les traitements en dehors de celui du témoin T0 qui est resté nul sur toute la série climatique historique. Quel que soit le cumul pluviométrique considéré, les adventices, au niveau des parcelles T0 n'ont pas permis le développement du riz.

Pour les semis effectués durant la période optimale de semis les coefficients de variation des rendements sont moins fortes, entre 0,28 et 0,42 (Tableau 38), que pour les semis effectués en dehors de cette période optimale de semis où elles sont comprises entre 1,04 et 1,51 (Tableau 39). Les rendements obtenus par les traitements sont plus élevés et stables en période optimale de semis (Figure 74) qu'en dehors de cette période (Figure 75).

Spécifiquement, pour la période optimale de semis, en dehors du témoin T0, les traitements, dans l'ordre décroissant de stabilité de rendement au cours des années, sont T4, T1, T3, T7, T6, T5, T8, T9, T2. En dehors de la période optimale de semis, l'ordre décroissant de stabilité des rendements est T2, T8, T1, T3, T5, T9, T4, T6, T7.

**Tableau 38 : statistiques du cumul pluviométrique et des rendements simulés suivant les traitements (semis 22 mars)**

Statistique	Cumul pluviométrique	Rdt (T0)	Rdt (T1)	Rdt (T2)	Rdt (T3)	Rdt (T4)	Rdt (T5)	Rdt (T6)	Rdt (T7)	Rdt (T8)	Rdt (T9)
<b>Nb. d'observations</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Minimum</b>	361,300	0,000	0,650	0,000	0,470	0,680	0,180	0,190	0,210	0,180	0,000
<b>Maximum</b>	630,500	0,020	3,220	1,200	2,630	3,280	1,950	2,030	1,840	1,730	1,060
<b>Moyenne</b>	512,160	0,003	2,199	0,869	1,788	2,218	1,491	1,520	1,387	1,309	0,777
<b>Coefficient de variation (n)</b>	<b>0,138</b>		<b>0,286</b>	<b>0,419</b>	<b>0,315</b>	<b>0,283</b>	<b>0,374</b>	<b>0,367</b>	<b>0,359</b>	<b>0,409</b>	<b>0,412</b>

**Tableau 39 : statistiques du cumul pluviométrique et des rendements simulés suivant les traitements (semis 13 septembre)**

Statistique	Cumul pluviométrique	Rdt (T0)	Rdt (T1)	Rdt (T2)	Rdt (T3)	Rdt (T4)	Rdt (T5)	Rdt (T6)	Rdt (T7)	Rdt (T8)	Rdt (T9)
Nb. d'observations	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum	211,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Maximum	372,900	0,000	0,949	0,883	1,049	0,719	1,144	0,826	0,731	1,090	0,948
Moyenne	262,500	0,000	0,287	0,301	0,320	0,198	0,355	0,235	0,158	0,356	0,228
Coefficient de variation (n)	<b>0,177</b>		<b>1,078</b>	<b>1,043</b>	<b>1,084</b>	<b>1,443</b>	<b>1,085</b>	<b>1,457</b>	<b>1,513</b>	<b>1,061</b>	<b>1,272</b>

### 8.1.7. Impact de la variabilité du cumul pluviométrique sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices

La variabilité climatique de la zone d'étude se caractérisant principalement par la variabilité des précipitations, l'impact de la variabilité climatique de cette zone sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices a été analysé à travers celui de la variabilité du cumul pluviométrique sur cette efficacité.

A l'aide du modèle PYE-IWM, qui prend en compte la population d'adventices et les méthodes de lutte contre celle-ci, les rendements du riz pluvial ont été simulés, pour chaque traitement, sous une série climatique historique de dix ans (2008-2017). La Perte Relative de Rendement (PRR), qui traduit la perte de rendement qui résulte de la présence résiduelle d'adventices non maîtrisées, a été calculée pour chaque traitement. En dehors de la biomasse d'adventices qui n'est pas simulés de manière satisfaisante par le modèle, la PRR a permis d'estimer l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices.

L'impact de la variabilité du cumul pluviométrique sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices a été déterminé en analysant la variabilité des PRR obtenus pour chaque méthode de lutte.

Les résultats ont indiqué que la variabilité du cumul pluviométrique a entraîné, une variabilité des PRR de tous les traitements en dehors de ceux des traitements des témoins T0 et T1 dont les PRR étaient restés constants au cours des années. Quel que soit le cumul pluviométrique considérée, la perte de rendement, due aux adventices, était totale pour le témoin T0 tandis qu'elle était nulle pour le traitement T1.

Pour les semis effectués durant la période optimale de semis, les coefficients de variation des PRR étaient plus fortes, entre 0 et 2,51 (Tableau 40) que pour les semis effectués en dehors de cette période optimale de semis où elles étaient comprises entre 0 et 2,30 (Tableau 41). Les PRR qui ont été obtenus en période optimale de semis avec les traitements présentaient une plus grande variabilité (Figure 74) comparativement à celles qui ont été obtenues en dehors de cette

période (Figure 75). En d'autres termes, l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices présentait une plus grande variabilité en période optimale de semis qu'en dehors de cette période.

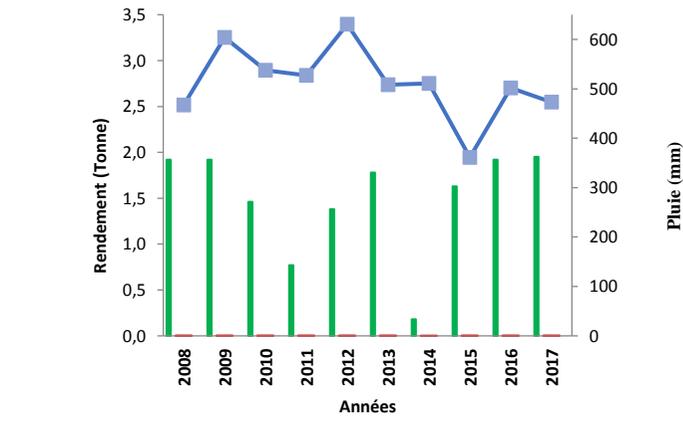
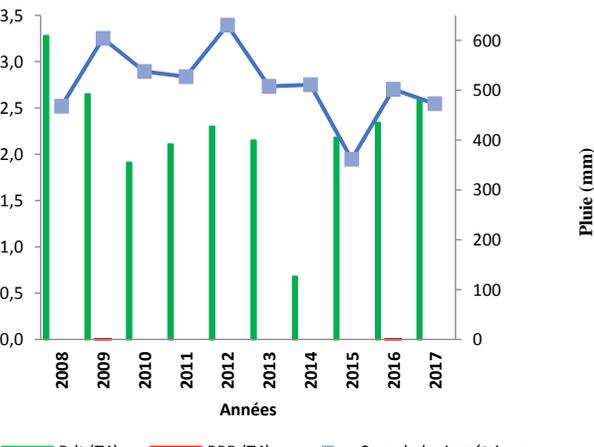
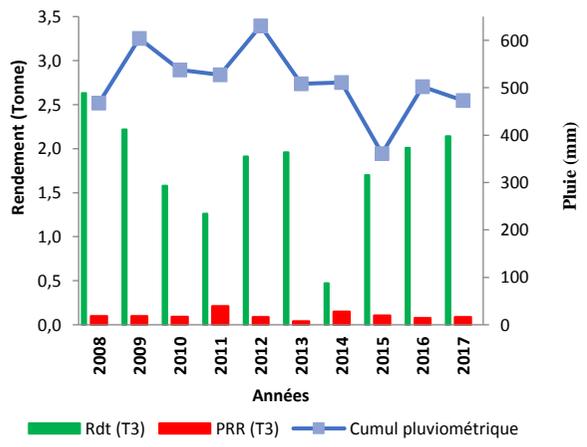
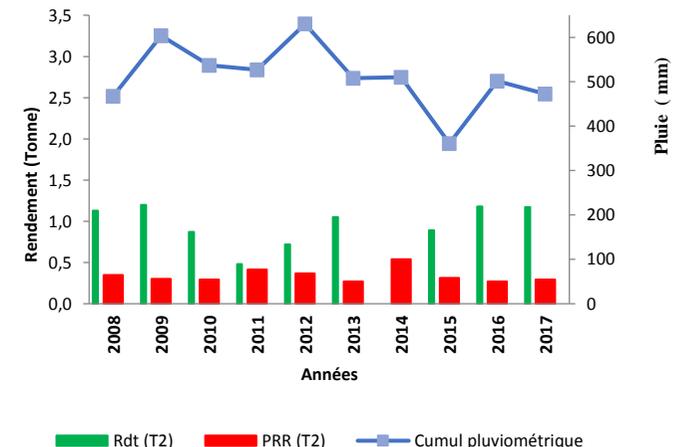
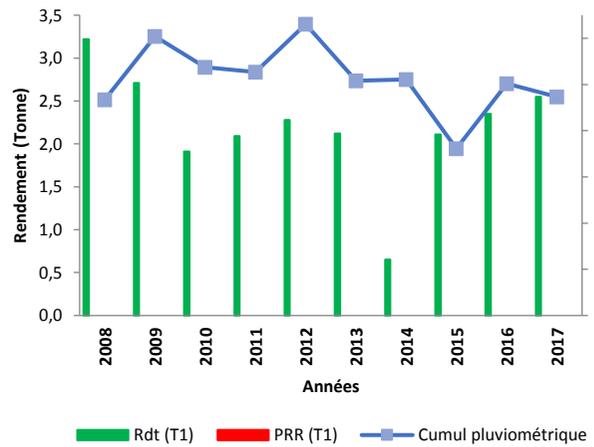
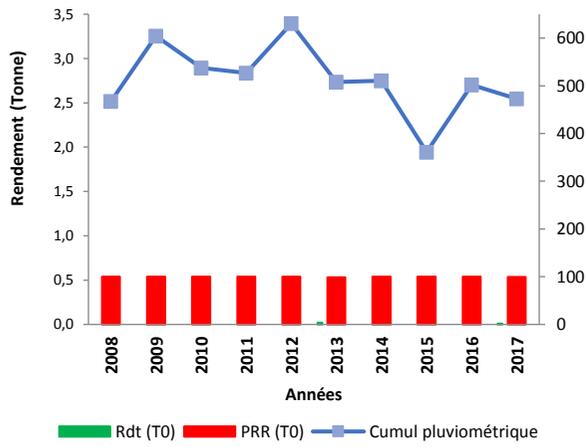
Spécifiquement, pour la période optimale de semis, en dehors des traitements témoins T0 et T1, les traitements, dans l'ordre décroissant de stabilité de leur efficacité au cours des années, sont T9, T2, T7, T8, T3, T6, T5 et T4. En dehors de la période optimale de semis, l'ordre décroissant de stabilité de l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices est T8, T3, T5, T7, T4, T6, T9, T2.

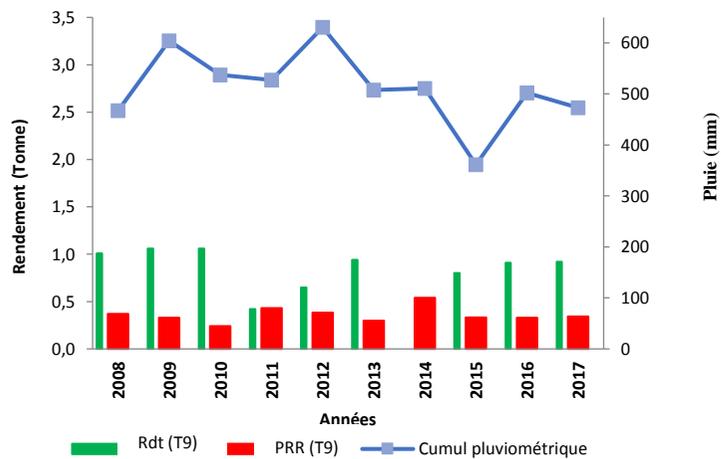
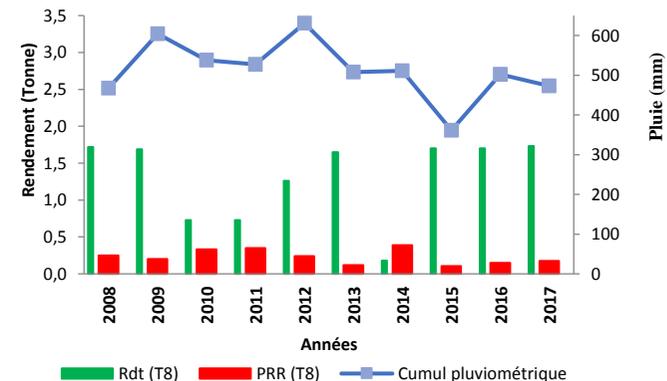
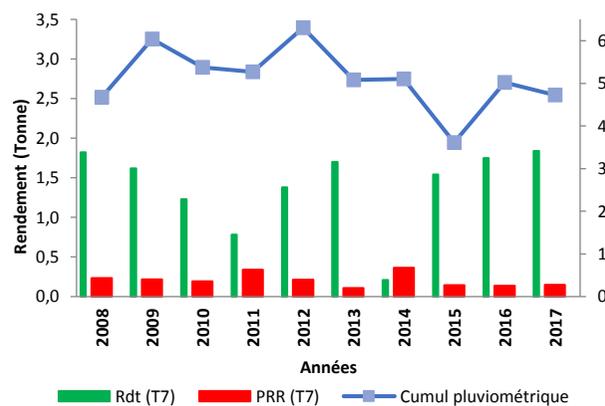
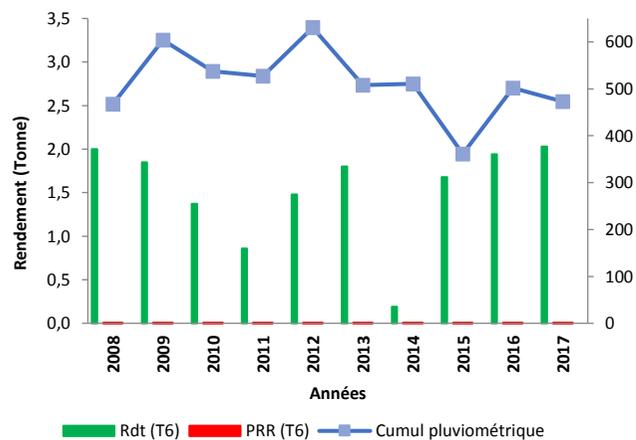
**Tableau 40 : statistiques de la Perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements (semis 22 mars)**

Statistique	PRR (T0)	PRR (T1)	PRR (T2)	PRR (T3)	PRR (T4)	PRR (T5)	PRR (T6)	PRR (T7)	PRR (T8)	PRR (T9)
Nb. d'observations	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum	99,06	0,00	49,787	7,547	0,000	16,04	15,09	19,81	19,43	44,50
Maximum	100,00	0,00	100,00	39,71	0,02	72,31	70,77	67,69	72,31	100,00
Moyenne	99,87	0,00	63,27	19,48	0,00	34,86	33,59	38,93	42,95	66,83
Coefficient de variation (n)	<b>0,003</b>		<b>0,232</b>	<b>0,422</b>	<b>2,509</b>	<b>0,523</b>	<b>0,518</b>	<b>0,384</b>	<b>0,409</b>	<b>0,212</b>

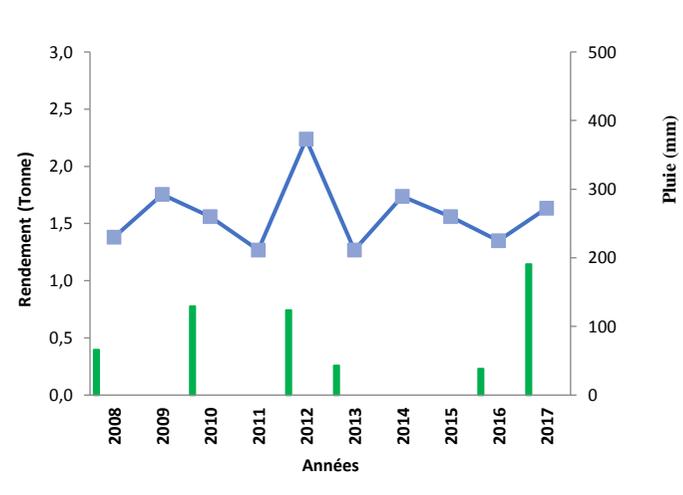
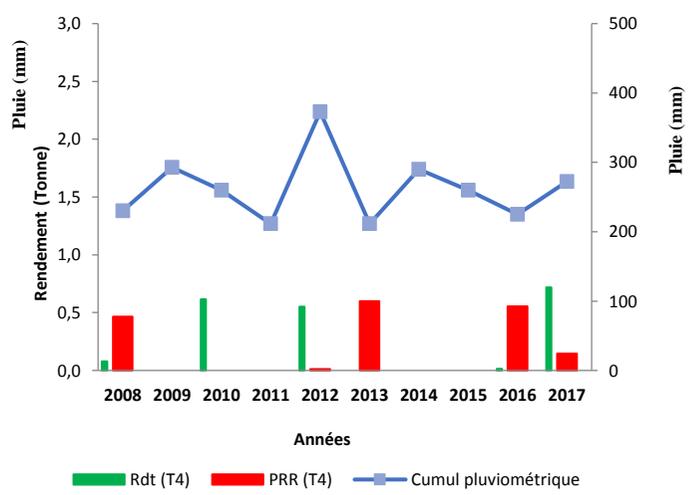
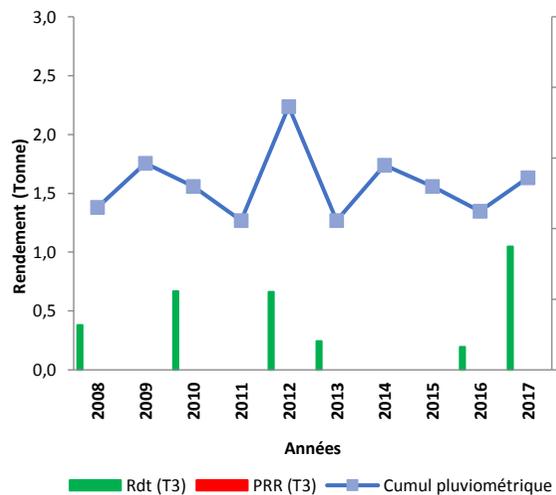
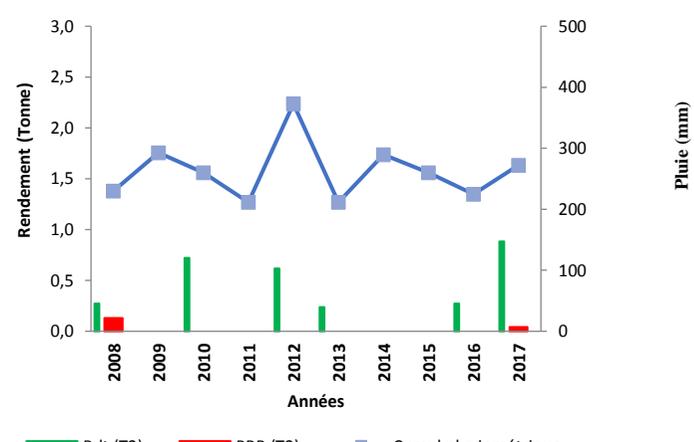
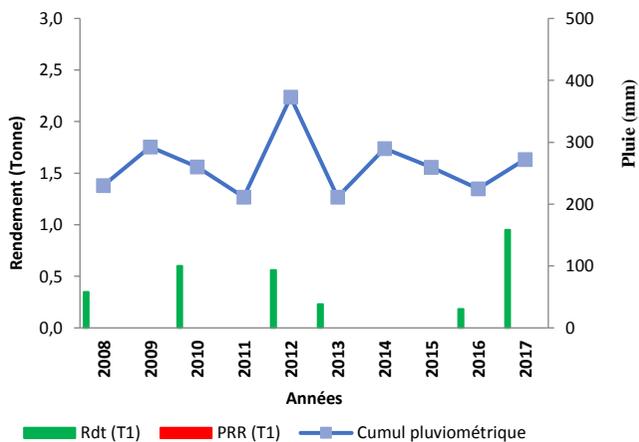
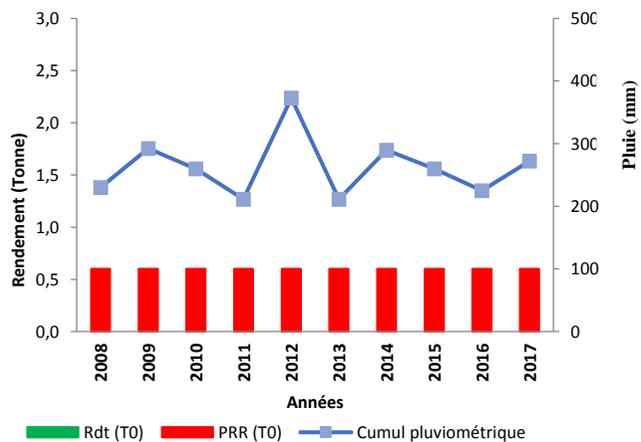
**Tableau 41 : statistiques de la Perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements (semis 13 septembre)**

Statistique	PRR (T0)	PRR (T1)	PRR (T2)	PRR (T3)	PRR (T4)	PRR (T5)	PRR (T6)	PRR (T7)	PRR (T8)	PRR (T9)
Nb. d'observations	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	100,00	0,00	21,49	0,00	100,00	0,00	100,00	100,00	0,00	100,00
Moyenne	100,00	0,00	2,84	0,00	29,61	0,00	28,30	34,20	0,00	16,32
Coefficient de variation (n)	<b>0,000</b>		<b>2,303</b>		<b>1,367</b>		<b>1,441</b>	<b>1,042</b>		<b>1,882</b>





**Figure 74 : cumul pluviométrique saisonnier, rendement grains et Perte Relative du Rendement (PRR) suivant les traitements (semis le 22 mars)**



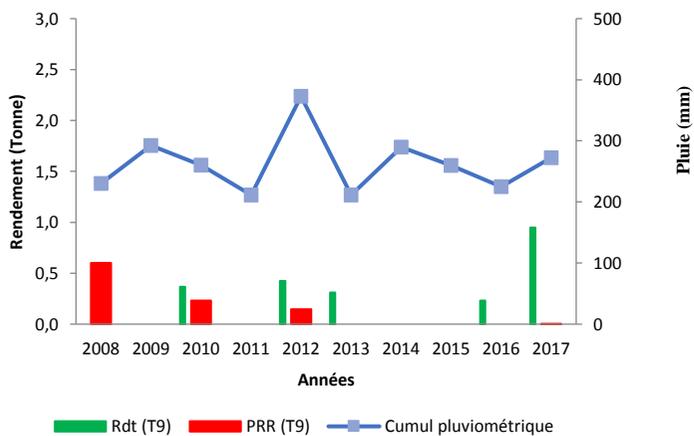
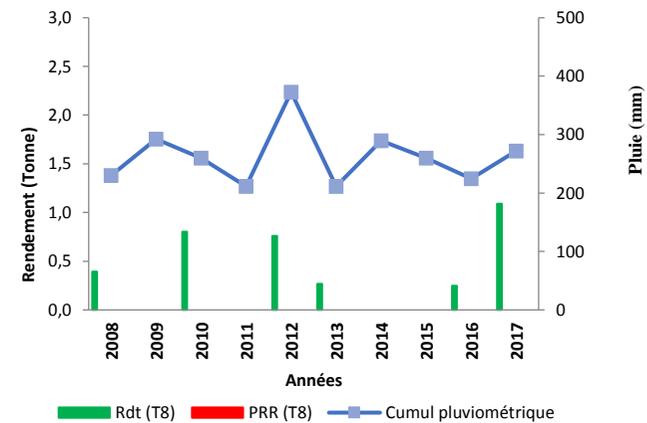
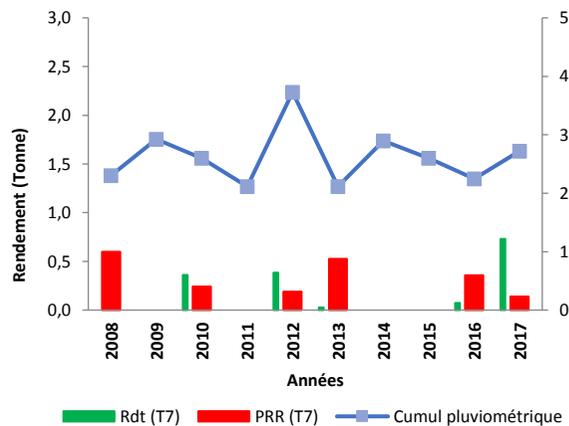
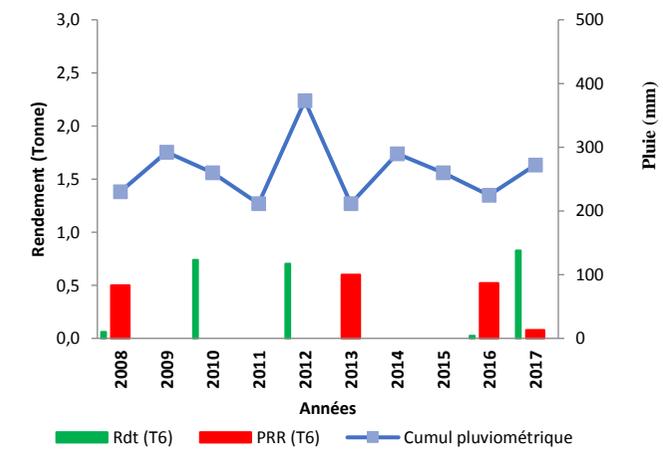


Figure 75 : cumul pluviométrique saisonnier, rendement grains et Perte Relative du Rendement (PRR) suivant les traitements (semis le 13 septembre)

L'expérimentation virtuelle, réalisée à l'aide des modèles PYE et PYE-IWM calibrés, a confirmé que le traitement T3 présentait les meilleures performances agronomiques et économiques et que la variabilité du stress hydrique a occasionné des pertes de rendement allant de 20 à 55% en période optimale de semis et de 74 à 100% en dehors de cette période. Que la variabilité du stress hydrique contribuait à la variabilité interannuelle des rendements qui était plus importante pour le semis effectué en dehors de la période optimale de semis. Elle a aussi montré que la variabilité du cumul pluviométrique a entraîné une variabilité des rendements obtenus avec les différentes méthodes de lutte quoique les rendements obtenus en période optimale de semis étaient plus élevés et plus stables que les rendements obtenus en dehors de cette période. La variabilité du cumul pluviométrique a entraîné une variabilité de l'efficacité des méthodes de lutte vis à vis des adventices. Cette efficacité était plus variable en période optimale de semis qu'en dehors de cette période. Ces résultats ont été discutés dans la section 8.2.

## **8.2. Discussion sur l'expérimentation virtuelle**

### **8.2.1. Choix et paramétrage du modèle de base PYE**

Le choix du modèle Potential Yield Estimator (Affholder *et al.*, 2012) comme modèle de base se justifie par le fait que ce modèle a déjà démontré son efficacité dans différents contextes tropicaux (Affholder *et al.*, 2012; Bertrand, 2011; Luu, 2012). De plus, le modèle est peu gourmand en données, ce qui est adapté à notre étude. Aussi, la disponibilité de ses codes sources permettait d'envisager toute une gamme de possibilités comme la prise en compte de la population d'adventices ainsi que des méthodes de lutte mise en œuvre contre celle-ci.

PYE simule le développement de la culture à pas de temps journalier et permet de sortir les rendements potentiels en fin de cycle. Il permet également de calculer le rendement limité par le stress hydrique de nombreuses cultures et adapté au contexte tropical.

Concernant le calage du modèle de base (PYE), le paramétrage de la phénologie du riz a bien montré que le nombre de jours simulés, pour chaque stade phénologique, correspondait bien aux nombres de jours observés. Les différences ont été relevées uniquement aux stades épiaison (différence de 3 jours) et floraison (différence de 2 jours). Les données d'essai utilisées sont ceux issues des parcelles semées le 22 mars 2017, durant la première moitié de la saison des pluies, pendant la période optimale de semis, et soumises aux témoins T1: parcelles maintenues propres du semis à la récolte, considérées comme non limitantes en eau et en éléments nutritifs.

Ceci pour utiliser des données d'essais non affectés par des stress hydriques comme le préconise de nombreux auteurs comme Kouakou (2017).

Le calage de l'Indice de surface foliaire, de la biomasse et du rendement, s'est fait en déterminant par essais-erreur les valeurs des paramètres qui les caractérisent. Après le calage, les RRMSE obtenues sont de 29,57%, 15,38 et 22,27 respectivement pour le LAI du riz, la biomasse du riz et le rendement grains du riz. Les IA sont de 0,86, 0,99 et 0,96 respectivement pour le LAI du riz, la biomasse du riz et le rendement grains du riz.

Ces paramètres, au regard des travaux de plusieurs auteurs, sont considérés comme bien calés car ayant obtenu des valeurs de RRMSE inférieures à 33% (Affholder *et al.*, 2003; Bertrand, 2011; Luu, 2012) et des IA proches de 1 (Kouakou 2017). Les résultats du paramétrage du modèle de base (PYE) pour notre zone d'étude sont donc satisfaisants. Une fois paramétré avec satisfaction, ce modèle a servi de base à la construction du modèle PYE-IWM.

### **8.2.2. Paramétrage du modèle PYE-IWM**

Concernant le modèle PYE-IWM, la modélisation de la levée et de la croissance aérienne des adventices a consisté à considérer la population d'adventices dans son ensemble avec des paramètres caractéristiques propres à cet ensemble. Cette approche, développée par Affholder (2001), a permis d'éviter l'acquisition de nombreux paramètres caractéristiques de chaque espèce présente dans cette population d'adventices. Ce qui alourdirait et rendrait très coûteux les expérimentations nécessaires au paramétrage d'un tel modèle.

Le paramétrage de la phénologie de la population d'adventices, de son indice de surface foliaire (Laiadv) et de sa biomasse (biomad<sub>v</sub>) ont consisté à déterminer par essais-erreur les valeurs des paramètres qui les caractérisent. Les résultats du paramétrage du modèle PYE-IWM n'ont pas été satisfaisants pour tous les paramètres étudiés. Si le rendement grains a été bien simulé par le modèle PYE-IWM au regard des valeurs de RRMSE inférieures à 33% et de IA proche de 1, il n'en est pas de même pour le LAI du riz, la biomasse du riz et la biomasse des adventices dont certaines des valeurs des RRMSE étaient supérieures à la valeur seuil de 33% avec des IA dont certaines valeurs s'éloignaient de 1.

Le paramétrage du modèle PYE-IWM a été rendu difficile par le nombre élevé de paramètres à caler et par un déficit de données observées. L'usage d'un logiciel pour le paramétrage du modèle pourrait être envisagé afin d'obtenir de meilleures performances.

### **8.2.3. Expérimentations virtuelles**

Les expérimentations virtuelles ont porté uniquement sur le rendement grains du riz pluvial qui a bien été calé à la fois pour le modèle PYE que pour le modèle PYE-IWM.

#### **8.2.3.1. Evaluation des méthodes de lutte contre les adventices sous une longue série climatique**

L'expérimentation virtuelle, à l'aide du nouveau modèle PYE-IWM, a permis d'évaluer, sous une série climatique de dix ans, l'effet des méthodes de lutte contre les adventices sur le rendement du riz pluvial. Les dix années de simulation étant considérées comme des répétitions. L'analyse de variance a montré qu'il y a un effet traitement au seuil de 5% sur le rendement grains et le test de Fisher a permis de constater que le traitement témoin T1 a obtenu le rendement grains le plus élevé de moyenne 2450 kg/ha. Il était différent du traitement T0 qui a permis d'obtenir le rendement grains le plus faible de moyenne 17,50 kg/ha. Les autres traitements ont permis d'obtenir des rendements grains intermédiaires, compris entre 405,78 et 1832 kg/ha, dont celui obtenu par le traitement T4 de moyenne 1832 kg/ha qui n'était pas différent ni de celui obtenu par le témoin T1 ni de ceux obtenus par les traitements T3 et T6. Parmi les méthodes de lutte intégrée étudiées, le traitement T4 a permis d'obtenir le meilleur rendement grains de 1832 kg/ha. Il est suivi du traitement T3 avec 1780 kg/ha puis du traitement T6 avec 1260 kg/ha. Les performances des traitements, dans l'ordre décroissant d'efficacité, sont T1, T4, T3, T6, T5, T7, T8, T2, T9 et T0. Ces résultats rejoignent ceux de l'expérimentation au champ et sont conformes aux travaux de Sunil *et al.*,(2010) qui ont montré que les méthodes de lutte intégrée permettaient d'accroître le rendement grains du riz pluvial. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que ces traitements couvrent la période critique de contrôle des adventices du Nerica 1, réduisant les adventices donc la compétition interspécifique du riz pour les ressources en eau et en éléments nutritifs. Ce qui permet aux plants de riz d'utiliser les ressources disponibles plus efficacement que les mauvaises herbes et cela se traduit finalement par de meilleurs rendements.

#### **8.2.3.2. Evaluation économique des méthodes de lutte contre les adventices**

L'analyse économique des différentes méthodes de lutte contre les adventices a montré que la rentabilité de ces méthodes de lutte intégrée était fonction du coût du désherbage. Ce résultat

rejoint celui de Juraimi *et al.*(2013). Le coût du désherbage connaît une grande variabilité dans notre étude. Les parcelles maintenues propres du semis à la récolte, quoiqu'elles ont permis d'obtenir les meilleurs Marges Brutes (MB), finissaient par donner les Marges Nettes les plus faibles à cause du coût élevé du désherbage. Ce résultat est également conforme à celui obtenu par Juraimi *et al.*(2013). Aussi, le désherbage à l'aide d'herbicide est moins coûteux que le désherbage manuel dans la zone d'étude. Le désherbage manuel est donc moins rentable que le désherbage chimique. Ce résultat rejoint les conclusions de plusieurs auteurs dont Hussain et Mondal (2014). Aussi, le désherbage par paillage, plus coûteux que le désherbage par herbicide et le désherbage manuel, s'est avéré également moins rentable. L'ajout du paillage a permis d'accroître la Marge Brute (MB), mais par ailleurs, a provoqué une baisse de la Marge Nette (MN) dans une plus grande proportion à cause du coût élevé de sa mise en œuvre. D'ailleurs, plusieurs auteurs remettent en cause l'usage du paillage dans la lutte contre les adventices. C'est le cas de Naudin *et al.* (2012) qui révèlent qu'en culture de riz pluvial, le paillage ne peut avoir d'effet significatif sur l'émergence des adventices qu'avec des quantités de biomasse supérieures à 3 T.ha<sup>-1</sup> qui sont souvent difficiles à atteindre en milieu paysan.

### **8.2.3.3. Impact de la variabilité du stress hydrique sur le rendement du riz**

L'expérimentation virtuelle, à l'aide du modèle de base PYE paramétré, a permis de mettre en évidence l'impact de la variabilité du stress hydrique sur la variation du rendement dans la zone d'étude. En effet, la variabilité du stress hydrique a occasionné des pertes de rendement de 32% en moyenne pour des semis effectués en période optimale de semis et de 91% en moyenne pour les semis effectués en dehors de cette période. Bertrand (2011) a obtenu un résultat similaire dans la région de Vakinankaratra à Madagascar avec des pertes de rendements de 23% en moyenne dues au stress hydrique. Pour les semis effectués en dehors de la période optimale de semis, les pertes de rendement sont beaucoup plus élevées. Aussi, la variabilité du stress hydrique a occasionné une plus grande variation des rendements. En effet, le coefficient de variation des rendements obtenus sous stress hydrique (0,316) était nettement supérieur à celui obtenu sans stress hydrique (0,243). Bertrand (2011) est parvenu également à des résultats similaires et Diallo (2009) a indiqué que la baisse considérable du rendement du riz provoquée par le stress hydrique est due à la forte réduction de l'assimilabilité des éléments nutritifs du sol par les plantes. Cette réduction étant elle-même provoquée par une perte importante d'eau par évapotranspiration.

#### **8.2.3.4. Impact de la variabilité du cumul pluviométrique sur le rendement du riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte intégrée**

La variabilité du cumul pluviométrique a entraîné une variabilité des rendements pour tous les traitements en dehors de la parcelle enherbée où quel que soit le cumul pluviométrique considéré, le rendement est resté nul car les adventices n'ont pas permis le développement du riz. Cette variabilité a été moins forte et les rendements obtenus par les traitements étaient plus élevés et plus stables durant la période optimale de semis qu'en dehors de cette période. Les rendements ont évolué dans le sens de la contrainte hydrique notamment en dehors de la période optimale de semis où le stress hydrique était plus intense. Cette sensibilité du riz au stress hydrique est établie par plusieurs auteurs dont Renard (1983). Aussi, la plus grande stabilité qu'a présenté par le traitement T4 : pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage + paillage vis à vis de la variabilité du cumul pluviométrique, au cours de la période optimale de semis, semble être due au paillage qui pour certains auteurs, bonifie le bilan hydrique en diminuant l'évapotranspiration (Unger et Parker, 1976) ou en réduisant les pertes d'eau dues au ruissellement (Scopel *et al.*, 2005).

La Perte Relative de Rendement (PRR), qui traduit la perte de rendement résultant de la présence d'adventices non maîtrisées, a permis d'estimer l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices. La variabilité du cumul pluviométrique a entraîné une variabilité de l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices en dehors des parcelles enherbées ou maintenues propres où quel que soit le cumul pluviométrique considéré, la perte de rendement, due aux adventices, était totale pour les parcelles enherbées et nulle pour les parcelles maintenues propres. Cette variabilité de l'efficacité des méthodes de lutte était plus forte en période optimale de semis qu'en dehors de cette période. Cette variabilité plus grande de l'efficacité des méthodes de lutte durant la période optimale de semis pourrait s'expliquer par le fait qu'en conditions de pluviométrie plus favorables, la compétitivité du riz pluvial vis à vis des adventices serait renforcée. Dans ces conditions, l'efficacité des méthodes de lutte serait renforcée et connaîtrait alors une variabilité fonction des conditions pluviométriques.

## **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

L'objectif de cette étude était d'évaluer en zone pré-forestière ivoirienne, caractérisée par une variabilité et des risques climatiques importants, huit méthodes de lutte contre les adventices en riziculture pluviale. Le département de Yamoussoukro, au cœur de cette zone pré-forestière a été choisi pour mener l'étude et le Nerica 1 ainsi qu'une variété de riz pluvial de 100 jours et une autre de 120 jours ont été utilisées dans la conduite de cette étude.

L'approche a consisté dans un premier temps en une expérimentation au champ permettant d'évaluer les huit méthodes de lutte contre les adventices. Dans un second temps, des analyses agroclimatiques ont permis d'identifier les risques climatiques majeurs pour la culture du riz pluvial et pour l'efficacité des méthodes de lutte intégrée, avant de déterminer les périodes optimales de semis, susceptibles d'atténuer l'occurrence de ces risques. Enfin, l'impact de la variabilité climatique de la zone d'étude sur le rendement du riz pluvial et sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices a été analysé à l'aide d'une expérimentation virtuelle sous une longue série climatique. L'expérimentation au champ a montré que la zone d'étude est caractérisée par une flore adventice composée de Poaceae (55%), d'adventices à feuilles larges (44%) et de Cyperaceae (1%) et que le traitement T3 : Herbicide de pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS donnait les meilleures performances agronomiques et économiques. L'identification des risques climatiques pour la culture du riz pluvial a montré que la hausse des températures maximales, le démarrage tardif de la saison des pluies, la variabilité des dates de démarrage de la saison des pluies, les faux départs, les fins de saison de pluies de plus en plus précoces, le raccourcissement de la saison des pluies, la baisse du cumul pluviométrique saisonnier, les séquences sèches, les sécheresses saisonnières et les déficits hydriques constituent les risques climatiques majeurs qui pourraient contrarier à la fois la culture du riz pluvial et l'efficacité des méthodes de lutte intégrée contre les adventices. La détermination des périodes optimales de semis a révélé que pour le riz pluvial de 120 jours, la période optimale de semis part du 22 mars au 26 avril pour une probabilité annuelle de réussite supérieure à 80 %. Pour le riz pluvial de 100 jours, cette période optimale de semis part du 27 mars au 11 mai pour une probabilité annuelle de réussite supérieure à 80 %. Ces périodes optimales de semis sont susceptibles d'atténuer les effets néfastes des risques climatiques et favoriser le développement du riz pluvial et l'efficacité des méthodes de lutte intégrée. Cependant, l'étroitesse de ces périodes optimales de semis n'autorise pas la réalisation d'un second cycle de culture dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique.

L'expérimentation virtuelle, a montré, à travers le modèle PYE-IWM, que le traitement T3 : Herbicide de pré-émergence (400 g/l d'Oxadiargyl) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS présente les meilleures performances agronomiques et économiques, confirmant ainsi les résultats obtenus

avec l'expérimentation au champ. Elle a également révélé, grâce au modèle PYE, que la variabilité du stress hydrique a occasionné des pertes de rendement allant de 20 à 55%, avec une moyenne de 32%, pour le semis effectué en période optimale de semis, et allant de 74 à 100%, avec une moyenne de 91%, pour le semis effectué en dehors de cette période. Aussi, elle a montré que la variabilité du stress hydrique contribuait également à la variabilité interannuelle des rendements qui était plus importante pour le semis effectué en dehors de la période optimale de semis.

L'expérimentation virtuelle a également montré, à l'aide du modèle PYE-IWM, qu'à l'exception du témoin T0, la variabilité du cumul pluviométrique a entraîné une variabilité des rendements obtenus avec les différentes méthodes de lutte quoique les rendements obtenus en période optimale de semis étaient plus élevés et plus stables que les rendements obtenus en dehors de cette période. Aussi, la variabilité du cumul pluviométrique a entraîné, à l'exception des témoins T0 et T1, une variabilité de l'efficacité des méthodes de lutte vis à vis des adventices. Cette efficacité était plus variable en période optimale de semis qu'en dehors de cette période.

Au terme des travaux, l'on peut conclure que les producteurs de riz pluvial, dans la zone de Yamoussoukro, devraient privilégier un seul cycle de culture dans l'année et semer les variétés de cycle moyen de 120 jours entre le 22 mars et le 26 avril et celles de cycle court de 100 jours entre 27 mars et le 11 mai. Aussi, durant ces périodes, l'application en prélevée d'Oxadiazyl à 400g/l suivie d'un sarclage manuel à 21JAS peut leur être recommandée pour une meilleure maîtrise de la flore adventice. Au vu du changement climatique qui impacte plusieurs autres cultures pluviales et qui n'épargne aucune région de la Côte d'Ivoire, cette étude pourrait être étendue à d'autres cultures telle que le maïs, le mil ou le fonio. Aussi, l'étude pourrait être réalisée dans les autres zones agroclimatiques de la Côte d'Ivoire, notamment au nord, dans la zone subsoudanaise, où les déficits hydriques sont plus importants. Par ailleurs, les calages des cycles des différentes cultures, proposés aux producteurs, devraient s'accompagner des probabilités de réussite qui leur sont associées afin de permettre à ces derniers de mieux appréhender les risques encourus. Ces calages de cycle devraient faire l'objet de travaux de modélisation en vue d'actualiser en temps réel les périodes optimales de semis. Enfin, l'évaluation des systèmes de culture devrait intégrer la variabilité climatique qui, de nos jours, interagit de plus en plus avec ces systèmes et influence leur efficacité.

## Références bibliographiques

- Adger, W. N., Huq, S., Brown, K., Conway, D., & Hulme, M. (2003). Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in Development Studies*, 3(3), 179–195.
- Affholder, F. (1995). Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. *Field Crops Research*, 41(2), 109–121. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00115-S](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00115-S)
- Affholder, F. (2001). *Modélisation de culture et diagnostic agronomique régional : mise au point d'une méthode et application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central*. Thèse de doctorat. INA-PG. France. 246 p. Retrieved from <http://agritrop.cirad.fr/487447/>.
- Affholder, F., Scopel, E., Neto, J., & Capillon, A. (2003). Diagnosis of the productivity gap using a crop model. Methodology and case study of small-scale maize production in central Brazil. *Agronomie*, 23(4), 305–325. <https://doi.org/10.1051/agro:2003004>
- Affholder, F., Tiftonell, P., Corbeels, M., Roux, S., Motisi, N., Tixier, P., & Wery, J. (2012). Ad Hoc Modeling in Agronomy: What Have We Learned in the Last 15 Years? *Agronomy Journal*, 104(3), 735–748. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0376>
- Aggarwal, P. K., & Mall, R. K. (2002). Climate Change and Rice Yields in Diverse Agro-Environments of India II. Effect of Uncertainties in Scenarios and Crop Models on Impact Assessment. *Climatic Change*, 52(3), 331–343. <https://doi.org/10.1023/A:1013714506779>
- Agossou, D. S. M., Tossou, C. R., Vissoh, V. P., & Agbossou, K. E. (2012). Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *African Crop Science Journal*, 20(2), 565–588
- Ahmadi N, Bouman B, (2013). Riz et rizicultures, enjeux économiques, écologiques et scientifiques. *Cah Agric* 22 : 333-5. doi : 10.1684/agr.2013.0665
- Akintayo, I., Cissé, B., & Zadji, L. D. (2008). Guide pratique de la culture des NERICA de plateau. *ADRAO*, 36 p. Retrieved from <http://www.africanrice.org/publications/Guide-NERICA%20-plateau-08.pdf>
- Akobundu, I. O., & Agyakwa, C. W. (1989). *Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest*. IITA. 524 p. Retrieved from <https://books.google.fr/books?id=WIKh1EcusMC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>
- Al Hamndou, D., & Requier-Desjardins, M. (2008). Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 8(1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.5356>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, 300(9), 327.
- Angladette, A. (1966). *Le riz*. Maisonneuve & Larose. Paris, France. 930 p.
- Anwar, M. P., Juraimi, A. S., Mohamed, M. T. M., Uddin, M. K., Samedani, B., Puteh, A., & Man, A. (2013). Integration of agronomic practices with herbicides for sustainable weed management in aerobic rice. *The Scientific World Journal*, 2013, 13. <https://doi.org/10.1155/2013/916408>
- Anwar, M. P., Juraimi, A. S., Samedani, B., Puteh, A., & Man, A. (2012). Critical Period of Weed Control in Aerobic Rice. *The Scientific World Journal*, 2012, 10. <http://dx.doi.org/10.1100/2012/603043>
- Arraudeau, M. A. (1998). *Le Riz Irrigué : Le Technicien. d'Agriculture Tropicale*. Maisonneuve et Larose, Paris. 331 pp.
- Aubertot, J.-N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J.-N., Guichard, L., Lucas, P., ... Voltz, M. (2005). *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux*. INRA et Cemagref. France. 120 p. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01173732>
- Aubry, C., & Dounias-Michel, I. (2006). L'agriculteur acteur et décideur. Systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. *L'agronomie Aujourd'hui, Paris, Quae*, 57–73.
- Aubry, C., Loyce, C., Meynard, J. M., Chatelin, M. H., Rellier, J. P., & Verjux, N. (1996). Outils et méthodes pour la conception et l'évaluation d'itinéraires techniques. *Aide à la décision et choix de stratégies dans les entreprises agricoles*. INRA. Paris, France. 111–126.

- Aw, D. and Güsten, R. (1975) 'Étude comparative de différents systèmes de riziculture en Côte d'Ivoire', *Cotonou: Centre du riz pour l'Afrique (Adrao)*.
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 66(355), 193–220. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/23443505>
- Bailey, J., Schweitzer Jennifer A., Úbeda Francisco, Koricheva Julia, LeRoy Carri J., Madritch Michael D., ... Whitham Thomas G. (2009). From genes to ecosystems: a synthesis of the effects of plant genetic factors across levels of organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1523), 1607–1616. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0336>
- Bakayoko, G. A., Kouamé, K. F., & Boraud, N. K. M. (2017). Culture de l'igname au Centre-Est de la Côte d'Ivoire : contraintes, caractéristiques sociodémographiques et agronomiques. *Journal of Applied Biosciences*, 110(1), 10701–10713. <https://doi.org/10.4314/jab.v110i1.1>
- Beavogui, M. (2012). *Impacts du changement climatique sur la culture du riz pluvial en haute guinée et proposition de stratégies d'adaptation*. Centre Regional Agrhymet. Niger. 95 p. Retrieved from [www.agrhymet.ne/portailCC/images/pdf/MemoireMaoro%20Beavogui.pdf](http://www.agrhymet.ne/portailCC/images/pdf/MemoireMaoro%20Beavogui.pdf)
- Bell, E. M., Sandler, P. D., & Alavanja, M. C. (2006). High Pesticide Exposure Events Among Farmers and Spouses Enrolled in the Agricultural Health Study. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 12(2), 101–116. <https://doi.org/10.13031/2013.20385>
- Bergez, Jacques-Eric, Colbach, N., Crespo, O., Garcia, F., Jeuffroy, M.-H., Justes, E., ... Sadok, W. (2010). Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 3–9.
- Bergez, J.-E., Deumier, J.-M., Lacroix, B., Leroy, P., & Wallach, D. (2002). Improving irrigation schedules by using a biophysical and a decisional model. *European Journal of Agronomy*, 16(2), 123–135.
- Bertrand, G. (2011). *Variabilité du rendement du riz pluvial dans les essais agronomiques de la matrice SCRiD à Vakinankaratra : analyse de l'interaction eau - pratiques culturales par voie de modélisation*. Master. SupAgro, Montpellier, France. 37 p.
- Bhurer, K. P., Yadav, D. N., Ladha, J. K., Thapa, R. B., & Pandey, K. R. (2013). Influence of Integrated Weed Management Practices on Dynamics and Weed Control Efficiency in Dry Direct Seeded Rice. *Nepal Journal of Science and Technology*, 14(2), 33–42.
- Blackshaw, R. E., Moyer, J. R., Harker, K. N., & Clayton, G. W. (2005). Integration of agronomic practices and herbicides for sustainable weed management in a zero-till barley field pea rotation. *Weed Technology*, 19(1), 190–196.
- Bonjean, C. A., Chambas, G. and Combes, J.-L. (2001) 'Echecs de marchés et pauvreté: l'exemple de la filière cacao en Côte d'Ivoire', *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 8(6), pp. 577–583.
- Boote, K. J., Jones, J. W., & Pickering, N. B. (1996). Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*, 88(5), 704–716. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Nigel\\_Pickering3/publication/221945352\\_Potential\\_Use\\_s\\_and\\_Limitations\\_of\\_Crop\\_Models/links/5a2584ec4585155dd4214c45/Potential-Uses-and-Limitations-of-Crop-Models.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Nigel_Pickering3/publication/221945352_Potential_Use_s_and_Limitations_of_Crop_Models/links/5a2584ec4585155dd4214c45/Potential-Uses-and-Limitations-of-Crop-Models.pdf)
- Boraud, M., Aké-Assi, E., Kassi, N., Aké, S., & Gasquez, J. (2010). Impact agro écologique de simulation de culture transgénique de maïs résistant au glyphosate et effet répétitif d'un traitement herbicide sur la flore adventice en Cote d'Ivoire. *Sciences & Nature*, 7(1), 41–49. Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/scinat/article/viewFile/59923/48197>
- Bouet, A., N'cho, A. L., Kéli, Z. J., Yoboué, N., Mangoa, Y. C., & N'guessan, P. (2005). *Bien cultiver le riz pluvial en Côte d'Ivoire*. CNRA. Côte d'Ivoire. 4 p. Retrieved from [http://www.cnra.ci/downloads/cultiver\\_riz.pdf](http://www.cnra.ci/downloads/cultiver_riz.pdf)
- Brisson, Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., ... Burger, P. (2003). An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4), 309–332. Retrieved from [http://www.academia.edu/download/41996034/An\\_overview\\_of\\_the\\_crop\\_model\\_STICS20160203-13676-2dhmsw.pdf](http://www.academia.edu/download/41996034/An_overview_of_the_crop_model_STICS20160203-13676-2dhmsw.pdf)
- Brisson, N., Wery, J., & Boote, K. (2006). Fundamental concepts of crop models illustrated by a comparative approach. *Working with Dynamic Crop Models*, Elsevier, Amsterdam, 257–279.
- Brou, Y. T., Akindès, F. and Bigot, S. (2005) 'La variabilité climatique en Côte d'Ivoire: entre perceptions sociales et réponses agricoles', *Cahiers Agricultures*, 14(6), pp. 533–540.

- Brou, Y. T., N'goran, J., Bigot, S., & Servat, E. (2003). Effect on Cocoa production of variations in rainfall in South-west Côte d'Ivoire. In *The 14th International Conference on Cocoa Research, Cocoa Producer's Alliance, Ghana*, [en ligne] URL: <http://www.copalcpawww.org>.
- Buddenhagen, I. W., Vuong, H. H. et Ba, D. D., (1979). Bacterial blight found in Africa. *Int Rice Res Newsl.* 4:11. CNUCED 2004. Le riz (2004) [www.unctad.org](http://www.unctad.org)
- Buhler, D. D., & Gunsolus, J. L. (1996). Effect of Date of Preplant Tillage and Planting on Weed Populations and Mechanical Weed Control in Soybean (*Glycine max*). *Weed Science*, 44(2), 373–379. <https://doi.org/10.1017/S0043174500094029>
- Buhler, D. D., Gunsolus, J. L., & Ralston, D. F. (1992). Integrated Weed Management Techniques to Reduce Herbicide Inputs in Soybean. *Agronomy Journal*, 84(6), 973–978. <https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400060013x>
- CARE. (2011). *Adaptation et sécurité alimentaire*. CARE. 5 p. Retrieved from <https://www.carefrance.org/ressources/themas/1/766,CARE-Adaptationetsecurite-alimentair.pdf>
- Cambrézy, L. et P. Janin (2003), « Le risque alimentaire en Afrique », p. 88-103, in: Y. Veyret (éd.), 2003, *Les risques*, coll. « Dossiers des images économiques du monde » (DIEM), SEDES, 255 p., novembre 2003, Paris.
- CEDEAO-CSAO/OCDE. (2008). *Le Climat et les changements climatiques. Série environnement . Atlas de l'Intégration Régionale de L'Afrique de l'Ouest, série environnement*. CEDEAO-CSAO/OCDE. 13 p. Retrieved from <https://www.oecd.org/fr/csao/publications/40121057.pdf>
- Centre Régional AGRHYMET. (2011). *La variabilité et les changements climatiques au Sahel: Comprendre la situation actuelle de par l'observation. Le Sahel face aux changements climatiques: Enjeux pour un développement durable*. Centre Régional AGRHYMET. Niger. 43 p. Retrieved from <http://www.agrhymet.ne/PDF/BM2010/specialChC.pdf>
- Chambre d'agriculture Aquitaine. (2014). *Bilan hydrique : Mode d'emploi*. Agence de l'Eau ADOUR-GARONNE. France. 3 p. Retrieved from [https://gironde.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Nouvelle-Aquitaine/100\\_Inst-Gironde/Documents/pdf\\_grandes-cultures\\_accompagnement-technique\\_mieux-irriguer/Mode\\_emploi\\_bilan\\_hydrique\\_2018.pdf](https://gironde.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/100_Inst-Gironde/Documents/pdf_grandes-cultures_accompagnement-technique_mieux-irriguer/Mode_emploi_bilan_hydrique_2018.pdf)
- Chaudhary, R. C., Nanda, J. S., & Van Tran, D. (2003). *Guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz*. FAO. 79 p. Retrieved from <https://books.google.ci/books?id=WX-kct9AzXwC>
- Chédé, F. (2012). *Vulnérabilité et stratégies d'adaptation au changement climatique des paysans du Département des Collines au Bénin: cas de la Commune de Savè*. Master. Centre Régional AGRHYMET. 86 p. Retrieved from Centre Régional AGRHYMET website: <http://www.agrhymet.ne/portailCC/images/pdf/M%C3%A9moire%20F%C3%A9licien%20Ch%C3%A9d%C3%A9.pdf>
- Chetaille, A., & Lagandré, D. (2010). L'assurance indicielle, une réponse face aux risques climatiques? *Grain de Sel*, 49, 20–21. Retrieved from [http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf\\_p20\\_21\\_Gret.pdf](http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf_p20_21_Gret.pdf)
- Chikowo, R., Faloya, V., Petit, S., & Munier-Jolain, N. M. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(3–4), 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.009>
- Colbach, N., Bockstaller, C., Colas, F., Gibot-Leclerc, S., Granger, S., Guyot, S., ... Queyrel, W. (2016). Conception de systèmes de culture multiperformants à l'aide de modèles prédisant la nuisibilité et les services dépendant des adventices. *Innovations Agronomiques*, 59, 191–203. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01858525/document>
- Courtois, B. (2007). Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique. Cirad, France, 13.
- Dancette, C. (1983). Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *L'agronomie tropicale*, 38(4), 281–294. Retrieved from <https://www.africabib.org/rec.php?RID=18605954X>
- Debaeke, P., Petit, M.-S., Bertrand, M., Mischler, P., Munier-Jolain, N., Nolot, J.-M., ... Verjux, N. (2008). Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles. In *Systèmes de culture innovants et durables : Quelles méthodes pour les mettre au point et les*

- évaluer. Educagri Editions. France pp149–168. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01173753>
- DGEMRH. (2012). *Module de formation 3 : Besoin en Eau d'irrigation*. Office du Niger. Mali. 30 p. Retrieved from [https://www.on-mali.org/joomlaa/\\_\\_\\_GED/index.php?x\\_3=-1&e\\_p=-1&panier=&choix=9&c\\_s=int%E9grer](https://www.on-mali.org/joomlaa/___GED/index.php?x_3=-1&e_p=-1&panier=&choix=9&c_s=int%E9grer)
- Diallo, D. (2009). *Evaluation physiologique de la résistance au stress hydrique du riz NERICA (oryzasappl.): cas de WAB 450 IBP 28HB et de WAB 450 IBP 91HB cultivés en république de guinée*. Thèse de doct. Université de Ouagadougou. Burkina-Faso. 125 p.
- Diomandé, M., Dongo, K., Koné, B., Cissé, G., Biémi, J., & Bonfoh, B. (2017). *Vulnérabilité de l'agriculture pluviale au changement de régime pluviométrique et adaptation des communautés rurales du «V-Baoulé» en Côte d'Ivoire*. Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire. Côte d'Ivoire. 11 p. Retrieved from [https://www.sifree.org/static/uploaded/Files/ressources/actes-des-colloques/niamey/simultanee-2/2\\_DIOMANDE\\_comm.pdf](https://www.sifree.org/static/uploaded/Files/ressources/actes-des-colloques/niamey/simultanee-2/2_DIOMANDE_comm.pdf)
- Djè, K. B. (2014). *Programme National Changement Climatique (PNCC): Document de Stratégie*. PNCC. Cote d'Ivoire. 84 p. Retrieved from <http://www.environnement.gouv.ci/pollutec/CTS3%20LD/CTS%203.4.pdf>
- Doumbia, S., & Depieu, M. E. (2013). Perception paysanne du changement climatique et stratégies d'adaptation en riziculture pluviale dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 64(1), 4822–4831. <https://doi.org/10.4314/jab.v64i1.88470>
- Folefack, D. P. (2014). Booster la production locale du riz pour le renforcement de la sécurité alimentaire au Nord Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, 82(1), 7449–7459. <https://doi.org/10.4314/jab.v82i1.5>
- Forestier, J. (1979). *Inventaire pour une étude de la résistance à la sécheresse du riz pluvial*. ORSTOM. Cote d'Ivoire. 36 p. Retrieved from <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:09706>
- Frère, M. (1987). *Suivi agrométéorologique des cultures et prévision des rendements*. FAO. Rome, Italie. 170 p.
- Gaff, D. F. (1980). Protoplasmic tolerance of extreme water stress. *John Wiley and Sons, Inc.*, 207–230. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19810718593>
- Gala bi, T. J., Camara, M., Yao-Kouame, A., & Zagbahi, K. J. (2011). Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau: Cas de la zone de Gagnoa dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 46, 3153–3162.
- Garcia, L. (2015). *Impact du changement climatique sur les rendements du mil et de l'arachide au Sénégal : Approche par expérimentation virtuelle*. Thèse de Doctorat. Montpellier SupAgro. 69p. Retrieved from <http://agritrop.cirad.fr/590889/>
- Gibot-Leclerc, S., Cordeau, S., Chauvel, B., & Bonin, L. (2009). *Changement climatique : pour les mauvaises herbes*. INRA Dijon et ACTA Baziège. 3 p. Retrieved from [https://www.perspectivesagricoles.com/file/galleryelement/pj/3f/c9/49/cd/356\\_3493142917852811534.pdf](https://www.perspectivesagricoles.com/file/galleryelement/pj/3f/c9/49/cd/356_3493142917852811534.pdf)
- GIEC. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. GIEC. 103 p. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_fr.pdf)
- Goula, B. T. A., Savane, I., Konan, B., Fadika, V., & Kouadio, G. B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.4000/vertigo.2038>
- Hammer, G. L., Kropff, M. J., Sinclair, T. R., & Porter, J. R. (2002). Future contributions of crop modelling—from heuristics and supporting decision making to understanding genetic regulation and aiding crop improvement. *European Journal of Agronomy*, 18(1), 15–31. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00093-X)
- Hari, K., & Pande, H. K. (1997). *Systèmes améliorés de riziculture pluviale*. FAO. Rome, Italie. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UACHBC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=089412>

- Harker, K. N., & O'Donovan, J. T. (2013). Recent Weed Control, Weed Management, and Integrated Weed Management. *Weed Technology*, 27(1), 1–11. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00109.1>
- Hasanuzzaman, M., Islam, M. O., & Bapari, M. S. (2008). Efficacy of different herbicides over manual weeding in controlling weeds in transplanted rice. *Australian Journal of Crop Science*, 2(1), 18–24.
- Huq, S., Reid, H., Konate, M., Rahman, A., Sokona, Y., & Crick, F. (2004). Mainstreaming adaptation to climate change in Least Developed Countries (LDCs). *Climate Policy*, 4(1), 25–43. <https://doi.org/10.1080/14693062.2004.9685508>
- Hussain, A., & Mondal, D. C. (2014). Weed management by herbicide combinations in transplanted rice. *Indian Journal of Weed Science*, 46(3), 220–223. Retrieved from [http://isws.org.in/IJWSn/File/2014\\_46\\_Issue-3\\_220-223.pdf](http://isws.org.in/IJWSn/File/2014_46_Issue-3_220-223.pdf)
- Hussain, S., Ramzan, M., Akhter, M., & Aslam, M. (2008). Weed management in direct seeded rice. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 18(2), 86–88. Retrieved from [http://thejaps.org.pk/docs/18\\_2-3\\_2008/08-838.pdf](http://thejaps.org.pk/docs/18_2-3_2008/08-838.pdf)
- Janin, P. (2010). Sécurité alimentaire et changement climatique: une lecture géopolitique des crises africaines et de leurs conséquences. *4<sup>e</sup> Géopolitiques de Brest: Les Enjeux Géopolitiques Du Changement Climatique, Bretagne Telecom-Ecole Navale-ENSIETA-Université de Bretagne Occidentale*. Centre de recherche bretonne et celtique. France. 93–107. Retrieved from [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers17-01/010069084.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-01/010069084.pdf)
- Jeuffroy, M.-H., Bergez, J.-E., David, C., Flénet, F., Gate, P., Loyce, C., ... Surleau-Chambenoit, C. (2008). Utilisation des modèles pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovations techniques en production végétale: bilan et perspectives. *Agronomie*, 18, 311–346.
- JICA, & JAICAF. (2013). *Etude de Collecte d'informations dans le secteur agricole en Côte d'Ivoire*. JICA. Japon. 236 p. Retrieved from [http://open\\_jicareport.jica.go.jp/pdf/12121513.pdf](http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12121513.pdf)
- Juraimi, A. S., Uddin, M. K., Anwar, M. P., Mohamed, M. T. M., Ismail, M. R., & Man, A. (2013). Sustainable weed management in direct seeded rice culture: A review. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7), 989–1002. Retrieved from [http://www.cropj.com/uddin\\_7\\_7\\_2013\\_989\\_1002.pdf](http://www.cropj.com/uddin_7_7_2013_989_1002.pdf)
- Koffi, C., & N'Dri, K. (2006). Marché et commercialisation du riz local au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 18(3), 299–308–308. <https://doi.org/10.4314/aga.v18i3.1699>
- Konan, Y., Akanvou, L., N'Cho, S., Arouna, A., Eddy, B., & Kouakou, C. K. (2014). Analyse de l'efficacité technique des riziculteurs face à l'infestation des cultures par les espèces parasites *Striga* en Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne Des Sciences et Technologie*, 23, 212–223. Retrieved from [http://revist.net/REVIST\\_23/REVIST\\_23\\_14.pdf](http://revist.net/REVIST_23/REVIST_23_14.pdf)
- Koné, M. (2003) *Droits délégués d'accès à la terre et aux ressources naturelles dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire: Bodiba (Oumé) et Zahia (Gboguhé)*. Groupe de recherche et d'échanges technologiques (GRET);
- Koné, B., Ettien, J.B., Amadji, G, et Diatta, S. ( 2008). Caractérisation de la tolérance de Nerica à la sécheresse . *African Crop Science Journal*, 16(2), 133-145
- Kotchi, J. K., Ouattara-Coulibaly, Y. R., & N'guessan, G. K. (2018). Impact socio-économique de l'aménagement hydro-rizicole de Guiguidou dans la sous-préfecture de Divo (Côte d'Ivoire). *EchoGéo*, (43), 1–17. <https://doi.org/10.4000/echogeo.15275>
- Kouakou, N. D. V., Angbo-Kouakou, C. E. M., Assidjo, N. E., & Grongnet, J. F. (2015). Stratégies incitatives à la pratique de l'élevage des cobayes ( *Cavia porcellus* L.) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 664-678–678. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.8>
- Kouakou, K. E., Amani, K., William, K. F., Albert, G. B. T., & Issiaka, S. (2013). Détermination des périodes optimales de semis du riz pluvial au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 3(3), 719–726.
- Kouakou, K. P. M. (2017). *Evaluation des possibilités de culture du riz pluvial et risques climatiques associés au Sénégal*. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop. Dakar, Sénégal. 91 p. Retrieved from <https://afrique-ouest.cirad.fr/content/download/7225/71339/version/1/file/Th%C3%A8se+Paul+Martial+KO+UAKOU+2017+VF.pdf>

- Lacharme, M. (2001). *Le plant de riz: données morphologiques et cycle de la plante*. Ministère du Développement Rural et de l'Environnement/ Direction de la Recherche Formation Vulgarisation. 22 p. Retrieved from [https://crrmc.ilemi.net/IMG/pdf/2-\\_Plant\\_de\\_riz.pdf](https://crrmc.ilemi.net/IMG/pdf/2-_Plant_de_riz.pdf)
- Lamb, P. J. (1982) 'Persistence of Sub-Saharan drought', *Nature*, 299(5878), pp. 46–48. doi: 10.1038/299046a0.
- Lambert, S., & Suwa-Eisenmann, A. (1991). Un modèle d'équilibre général, appliqué à la Côte-d'Ivoire. *Économie & prévision*, 97(1), 77–89. <https://doi.org/10.3406/ecop.1991.5212>
- Le Bourgeois, T. L., & Merlier, H. (1995). *Adventrop: les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. Versailles, France: Editions Quae. 646 p.
- Léonard, É. and Oswald, M. (1996) 'Une agriculture forestière sans forêt. Changements agro-écologiques et innovations paysannes en Côte-d'Ivoire', *Natures sciences sociétés*, 4(3), pp. 202–216.
- Lhomme, J. P., & Monteny, B. (1981). Une méthode d'analyse agroclimatique pour le calage des cycles culturaux en zone intertropicale. *L'Agronomie Tropicale*, 36(4), 334–338. Retrieved from <https://www.africabib.org/rec.php?RID=192196219>
- Lopes Ovejero, R. F., Soares, D. J., Oliveira, W. S., Fonseca, L. B., Berger, G. U., Soteres, J. K., & Christoffoleti, P. J. (2013). Residual herbicides in weed management for glyphosate-resistant soybean in Brazil. *Planta Daninha*, 31(4), 947–959. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000400021>
- Loyce, C., Félix, I., Bouchard, C., Mischler, P., Omon, B., Rolland, B., & Valantin-Morison, M. (2008). Méthodes d'évaluation en réseau d'itinéraires techniques potentiellement innovants: nouveaux acquis opérationnels. In *Systèmes de culture innovants et durables: Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer* (pp. 130–147). Dijon, France: Educagri Editions.
- Loyce, C., & Wery, J. (2006). Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. *L'agronomie Aujourd'hui. QUAE Editions*, 77–95.
- Luquet, D., Zhang, B. G., Dingkuhn, M., Dexet, A., & Clément-Vidal, A. (2005). Phenotypic Plasticity of Rice Seedlings: Case of Phosphorus Deficiency. *Plant Production Science*, 8(2), 145–151. <https://doi.org/10.1626/pps.8.145>
- Luu, N. Q. (2012). *Introduction d'une culture de printemps dans les systèmes de culture des terres irrigables des montagnes du Nord du Vietnam. Approche par modèle agroclimatique*. Thèse de Doctorat. Montpellier SupAgro. 165 p. Retrieved from <http://agritrop.cirad.fr/566912/>
- Marnotte, P. (1995). Utilisation des herbicides : contraintes et perspectives. *Agriculture et Développement*. 7. 12–21. Retrieved from [http://agritrop.cirad.fr/387762/1/document\\_387762.pdf](http://agritrop.cirad.fr/387762/1/document_387762.pdf)
- Martin, J. T. and Juniper, B. E. (1970). *The Cuticles of Plants*. Edward Arnold (Publishers) Ltd. London, UK. 347 p. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19710305454>.
- Mathieu, B., & Marnotte, P. (2000). L'enherbement des sols à Muskuwaari au Nord-Cameroun. *Onzième Colloque International Sur La Biologie Des Mauvaises Herbes*. AFPP Annales. 151–158.
- Mbaiguedem, M. (2012). *Etude de vulnérabilité et adaptation des femmes rurales face au changement climatique: Cas du Département du Chari au Tchad*. Master. Centre Régional AGRHYMET. 85 p. Retrieved from <http://www.agrhymet.ne/portailCC/images/pdf/M%C3%A9moire%20Miambaye%20Mbaiguedem.pdf>
- Megan S. and McCouch S., (2007). The Complex History of the Domestication of Rice. *Annals of Botany*, pp 1–7.
- Meier, U. (2001). *Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées*. Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts.
- MEMPD. (2016). *Etudes monographiques et économiques des Districts de Côte d'Ivoire. District Autonome de Yamoussoukro (PEMED-CI)*. MEMPD.
- Merlier, H. (1974). *Végétation adventice des rizières pluviales de Côte d'Ivoire*. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales. Montpellier, France. pp. 127–141.

- Merlier, H. (1982). La lutte contre les mauvaises herbes en riziculture pluviale en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale*, 37(4), 408–410. Retrieved from [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_12-13/17162.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_12-13/17162.pdf)
- Merlier, M. H., & Montégut, J. M. (1982). *Adventices tropicales: flore aux stades plantule et adulte de 123 espèces africaines ou pantropicales*. Ministère des relations extérieures, Coopération et développement. Paris, France. 490 p
- Meynard, J.-M., Doré, T., & Habib, R. (2001). L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *Comptes Rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 87(4), 223–236.
- Milleville, P. (1987). Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 16, 3–6. Retrieved from [http://cahiers-recherche-developpement.cirad.fr/cd/CRD\\_16\\_3-7.pdf](http://cahiers-recherche-developpement.cirad.fr/cd/CRD_16_3-7.pdf)
- MINESUDD. (2014). *L'agriculture Intelligente face au Climat en Côte d'Ivoire: état des lieux et besoins d'appui pour mieux intégrer l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) dans le Programme National d'Investissement Agricole (PNIA)*. MINESUDD. 14 p. Retrieved from <http://www.environnement.gouv.ci/pollutec/CTS3%20LD/CTS%203.2.pdf>
- Mishra, J. S., & Singh, V. P. (2007). Integrated weed management in zero-till direct-seeded rice (*Oryza sativa*) - wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Indian Journal of Agronomy*, 52(3), 198–203.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 281(980), 277–294. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>
- Moody, K., & Drost, D. C. (1983). *The role of cropping systems on weeds in rice*. International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna, Philippines. 73–86 pp.
- Nain, A. S., & Kersebaum, K. C. (2007). Calibration and validation of CERES model for simulating. In K. C. Kersebaum, J.-M. Hecker, W. Mirschel, & M. Wegehenkel (Eds.), *Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems*. Springer Netherlands. Hollande. 161–181 pp.
- ONU. (1992). *Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*. ONU. New-York, USA. 30 p Retrieved from <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>
- Naudin, K., Scopel, E., Andriamandroso, A. L. H., Rakotosolofo, M., Ratsimbazafy, N. R. S. A., Rakotozandry, J. N., ... Giller, K. E. (2012). Trade-offs between biomass use and soil cover. The case of rice-based cropping systems in the lake alaoatra region of Madagascar. *Experimental Agriculture*, 48(2), 194–209. <https://doi.org/10.1017/S001447971100113X>
- Noba, K. (2002). *La flore adventice dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal): structure, dynamique et impact sur la production du mil et de l'arachide*. Thèse de Doctorat d'Etat de Biologie Végétale. Option Malherbologie, UCAD Dakar, Sénégal.
- OCDE, & FAO. (2008). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2008-2017. Synthèse. OCDE. 83 p. Retrieved from <https://www.oecd.org/fr/tad/40716017.pdf>
- ONDR. (2012). *Stratégie Nationale Révisée de Développement de la filière Riz en côte d'ivoire (SNDR) 2012 - 2020*. ONDR. Côte d'Ivoire. 40 p. Retrieved from [https://riceforafrica.net/downloads/NRDS/Cote\\_dIvoire\\_fr.pdf](https://riceforafrica.net/downloads/NRDS/Cote_dIvoire_fr.pdf)
- O'toole, J. C. (1979) 'Drought resistance in cereals-rice: a case study', *Stress physiology in crop plants*. Wiley-Interscience. New York.
- O'Toole, J. C., & Cruz. (1980). Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant Physiology*, 65(3), 428–432.
- Ouattara, D. (2018). *Calage du modèle de culture Sarra-H sur une variété de riz pluvial en zone centre de la Côte d'Ivoire : cas de Yamoussoukro*. Mémoire d'Ingénieur Agronome. INP-HB. Côte d'Ivoire. 61 p.
- Ouédraogo, M., Dembélé, Y., & Somé, L. (2010). Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations: cas des paysans du Burkina Faso. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 21(2), 87-96. doi : 10.1684/sec.2010.0244
- Ouédraogo, A., Da, E. C. D., & Ouoba, A. P. (2017). Perception locale de l'évolution du milieu à Oula au Nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 144–156. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.12>
- Ou ,S.H.,(1984). Rice Diseases.(2nd ed.).CMI:109-201.

- Oxfam International. (2009). *Haïti. "Une tempête en formation" Changement Climatique et Pauvreté*. Oxfam International. 54 p. Retrieved from Oxfam International website: [http://www.knfp.org/PDF%20File/draft\\_fre\\_nov14\\_franc.pdf](http://www.knfp.org/PDF%20File/draft_fre_nov14_franc.pdf)
- Papy, F. (1998). *Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision*. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). 15 p. Retrieved from [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers4/010013877.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers4/010013877.pdf)
- Passioura, J. B. (1976). Physiology of Grain Yield in Wheat Growing on Stored Water. *Functional Plant Biology*, 3(5), 559–565. <https://doi.org/10.1071/pp9760559>
- Passioura, John B. (1996). Simulation Models: Science, Snake Oil, Education, or Engineering? *Agronomy Journal*, 88(5), 690–694. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800050002x>
- Paturel, J. E., Servat, E., Kouamé, B., Boyer, J. F., Lubes, H., & Masson, J. M. (1995). La sécheresse en Afrique de l'ouest non sahélienne (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). *Sécheresse*, 6(1), 95–102.
- Paturel, J. E., Servat, E., Delattre, M. O., & Lubes-Niell, H. (1998). Analysis of rainfall long series in non-Sahelian West and Central Africa within a context of climate variability. *Hydrological Sciences Journal*, 43(6), 937–946. <https://doi.org/10.1080/02626669809492188>
- Pettitt, A. N. (1979). A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 28(2), 126–135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Pingault, N., Pleyber, E., Champeaux, C., Guichard, L., & Omon, B. (2009). Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures: l'indicateur de fréquence de traitement. *Notes et Études Socio-Économiques*, 32, 61–94. Retrieved from <http://www.forumphyto.fr/images/pdf/les-infos/2009/0903agresteift.pdf>
- PNUD. (2010). *Changements climatiques et développement durable en Afrique: Vue d'ensemble*. PNUD. 48 p. Retrieved from [http://www1.uneca.org/Portals/fdavii/documents/ADF-%20VII\\_BackgroundPaper\\_FRE.pdf](http://www1.uneca.org/Portals/fdavii/documents/ADF-%20VII_BackgroundPaper_FRE.pdf)
- Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen, L. H., Sheehy, J. E., & Thomas, J. M. G. (2006). Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research*, 95(2), 398–411. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.04.008>
- Prot, J. C. (1994). Monetary values estimates of nematodes probleme, research proposal and priorities. The rice example in South and Southeast Asia. *Fumdam. Appl.Nematology* 16: 385-388.
- Raboin, L.-M., Ramanantsoanirina, A., Dzido, J.-L., Frouin, J., Radanielina, T., Tharreau, D., ... Ahmadi, N. (2013). Création variétale pour la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. *Cahiers Agricultures*, 22(5), 450–458. <https://doi.org/10.1684/agr.2013.0624>
- Rao, A. N., Johnson, D. E., Sivaprasad, B., Ladha, J. K., & Mortimer, A. M. (2007). Weed Management in Direct-Seeded Rice. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 93, pp. 153–255). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)93004-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93004-1)
- Reau, R., & Doré, T. (2008). *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri Editions. 175 p. Retrieved from <https://books.google.fr/books?id=z2nGUqyh40gC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>
- Renard, C. (1983). Adaptation du riz pluvial au déficit hydrique. *Tropicultura*, 1(4), 128–132. Retrieved from <http://www.tropicultura.org/text/v1n4/128.pdf>
- Reversat, G., Bouman, B., Fernandez, L., Lampayan, R. and Castaneda, A.(2003). How water shortage in irrigated Asian rice production potentiel threat of plant parasitic nematodes. AFPP-seventh international conference on plant Diseases, Tours, France, December 3-5, 2003. 8p.
- Reyniers, F. N., Truong, B., Jacquinet, L., & Nicou, R. (1982). Amélioration de la tolérance du riz pluvial a la sècheresse. *Agronomie tropicale*, 37(3), 270–287. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302158309>
- Riedacker, A., & Adjahossou, D. F. (2009). Sécurité alimentaire et changement climatique en Afrique subsaharienne. *Pour*, 202–203(3–4), 124–132. <https://doi.org/10.3917/pour.202.0124>

- Robin, M.-H. (2013). *Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales et de la situation de production sur les dégâts causés par les bioagresseurs des cultures. Application au blé d'hiver*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. 317 p. Retrieved from <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002650/01/Robin.pdf>
- Salack, S. (2006). *Évaluation de l'incidence des changements climatiques sur la culture du riz pluvial et irrigué dans les pays du CILSS*. 29. Memoire d'Ingénieur. Centre Régional AGRHYMET. 29 p. Retrieved from [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/1387276/Report\\_Rice\\_06Novembre2006\\_seyni.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552860143&Signature=9lMRRJGRX1qVXefvstCCo9Gdr3k%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSalack\\_S.\\_Sarr\\_B.\\_Evaluation\\_de\\_l\\_incide.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/1387276/Report_Rice_06Novembre2006_seyni.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552860143&Signature=9lMRRJGRX1qVXefvstCCo9Gdr3k%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSalack_S._Sarr_B._Evaluation_de_l_incide.pdf)
- Sarr, B. (2007). *Manuel d'utilisation destiné aux ingénieurs en agrométéorologie*. Centre Régional AGRHYMET, Niger, 72p.
- Sarr, B., Kafando, L., & Atta, S. (2011). Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(4), 1659-1675.
- Sarr, Atta, S., & Kafando, L. (2012). *Revue des indices climatiques utilisés dans les systèmes d'assurances agricoles indicielles en Afrique*. Science et changements planétaires/Sécheresse. pp. 255–260.
- Savadogo, M., Somda, J., Seynou, O., Zabré, S., & Nianogo, A. (2011). *Catalogue de bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso*. Programme UICN-Burkina Faso. 52 p.
- Savané, I., Coulibaly, K. M. and Gioan, P. (2002) 'Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man', *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(4), pp. 231–7
- Scopel, E., Douzet, J. M., da Silva, F. A. M., Cardoso, A., Moreira, J. A. A., Findeling, A., & Bernoux, M. (2005). 'Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les Cerrados brésiliens', *Cahiers Agricultures*, 14(1), pp. 71–75.
- Scopel, E., Muller, B., Arreola-Tostado, J. M., Chavez Guerra, E., & Maraux, F. (1998). Quantifying and modeling the effects of a light crop residue mulch on the water balance: an application to rainfed maize in Western Mexico. *Congrès Mondial Des Sciences Du Sol*. 16, 7 p. Retrieved from <http://agritrop.cirad.fr/392571/>
- Semenov, M. A., Martre, P., & Jamieson, P. D. (2009). Quantifying effects of simple wheat traits on yield in water-limited environments using a modelling approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6), 1095–1104. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.01.006>
- Sié, M. (1997). *Analyse des contraintes photothermiques en vue de l'adaptation des variétés de riz irrigué au Sahel*. Thèse de doctorat. ENSAM. 157 p. Retrieved from <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010010913>
- Singh, B., & Cohen, M. J. (2014). *Adaptation aux changements climatiques : Le cas d'Haïti*. OXFAM. 40 p.
- Singh, S., Ladha, J. K., Gupta, R. K., Bhushan, L., Rao, A. N., Sivaprasad, B., & Singh, P. P. (2007). Evaluation of mulching, intercropping with Sesbania and herbicide use for weed management in dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Protection*, 26(4), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.04.024>
- Sivakumar, M. V. K. (1988). Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42(4), 295–305. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(88\)90039-1](https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90039-1)
- Sodexam. (2013). *Bulletin Agrometeorologique Décadaire-Mai 2013*. Sodexam. 10 p. Retrieved from <http://www.wamis.org/countries/cdivoire/cdivr2013053.pdf>
- Stern, R., Derk, Rijks, Ian, Dale, & Knock, J. (2006). *Instat Climatic Guide*. Statistical Services Centre, University of Reading. UK. 330 p. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/264879427\\_Instat\\_Climatic\\_Guide](https://www.researchgate.net/publication/264879427_Instat_Climatic_Guide)
- Summerfield, R. J., Collinson, S. T., Ellis, R. H., Roberts, E. H., & De Vries, F. W. T. P. (1992). Photothermal Responses of Flowering in Rice (*Oryza sativa*). *Annals of Botany*, 69(2), 101–112. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088314>

- Sunil, C. M., Shekara, B. G., Kalyanamurthy, K. N., & Shankaralingappa, B. C. (2010). Growth and yield of aerobic rice as influenced by integrated weed management practices. *Indian Journal of Weed Science*, 42(3/4), 180–183. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113293834>
- Suria, A. J., Juraimi, A. S., Rahman, M., Man, A. B., & Selamat, A. (2011). Efficacy and economics of different herbicides in aerobic rice system. *African Journal of Biotechnology*, 10(41), 8007–8022. <https://doi.org/10.5897/AJB11.433>
- Swanton, C. J., & Weise, S. F. (1991). Integrated Weed Management: The Rationale and Approach. *Weed Technology*, 5(3), 657–663. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/3987055>
- Sy, A. A. et Sere, Y. (1996). Manuel de formation en pathologie du riz .Edition et composition Imprint Design, Royaume Uni. 94p.
- Sy, O., & Sané, T. (2008). Changements climatiques et crise de la riziculture en Basse-Casamance (Sénégal). In *Climats et risques climatiques en Méditerranée, Actes du XXIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie* (pp. 587-591)
- Sylla, M., Traoré, K., Soro, D., & Yodé, T. E. G. (2017). 'Evaluation des pratiques de gestion des adventices en riziculture irriguée dans la localité de Daloa, centre-ouest de la Côte d'Ivoire', *Agronomie Africaine*, 29(1), pp. 49–64.
- Szarek, S. R., & Ting, I. P. (1975). Photosynthetic Efficiency of CAM Plants in Relation to C3 and C4 Plants. In R. Marcelle (Ed.), *Environmental and Biological Control of Photosynthesis*. Springer Netherlands. Hollande (pp. 289–297)
- Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA). (1998). *Weeds of rice in West Africa*. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA). Wageningen, Netherlands. 312 p.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677.
- Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., & Wery, J. (2008). SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems*, 97(3), 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.02.003>
- Traoré, A. (2015). *Analyse de l'évolution à long terme de l'écart de rendement du sorgho dans une rotation coton-sorgho-arachide plus ou moins intensifiée. Approche par modélisation*. Master. Montpellier SupAgro. 42 p. Retrieved from <http://agritrop.cirad.fr/590890/>
- Tukey, J. W. (1949). Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 5(2), 99–114. <https://doi.org/10.2307/3001913>
- Turner, N. C. (1982). The role of shoot characteristics in drought resistance of crop plants. *Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice*, 115–134
- Unger, P. W. and Parker, J. J. (1976) 'Evaporation Reduction from Soil with Wheat, Sorghum, and Cotton Residues 1', *Soil Science Society of America Journal*, 40(6), pp. 938–942.
- van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52(3), 197–208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)
- Verdeaux, F. (1998) 'Paradoxes et rationalités de la «déforestation» en Côte-d'Ivoire', *Nature Sciences Sociétés*, 6(1), pp. 26–35
- Vergara, B. S., & Chang, T. T. (1985). *The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod: A Review of the Literature*. International Rice Research Institute. Philippines. 67p. Retrieved from [http://books.irri.org/9711041510\\_content.pdf](http://books.irri.org/9711041510_content.pdf)
- Wallach, D., Brun, Makowski, D., & Jones, J. W. (2006). *Working with Dynamic Crop Models: Evaluation, Analysis, Parameterization, and Applications*. Elsevier. 465 p
- WARDA. (2008). *NERICA®: the New Rice for Africa – a Compendium*. WARDA. Cotonou, Benin. 210 p. Retrieved from <http://www.africarice.org/publications/nerica-comp/Nerica%20Compendium.pdf>
- Woodfine, A. (2010). *L'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets en Afrique subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres*. TerrAfrica. 90 p. Retrieved from [http://www.agrhyment.ne/portailCC/images/pdf/Adaptation\\_changement\\_climatique\\_et\\_pratiques.pdf](http://www.agrhyment.ne/portailCC/images/pdf/Adaptation_changement_climatique_et_pratiques.pdf)

- Wopereis, M. C. S., Defoer, T., Idinoba, P., Diack, S., & Dugué, M. J. (2008). *Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne: Manuel technique*. Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). Cotonou, Bénin. 128 p.
- Yao, N., Oulé, A., & N'Goran, K. (2013). *Etude de Vulnérabilité du Secteur Agricole face aux Changements Climatiques En Côte d'Ivoire*. PNUD Côte d'Ivoire. 105 p. Retrieved from [http://www.ci.undp.org/content/dam/cote\\_divoire/docs/rapports/PNUD%20RAPPORT%20FINAL%20DEFINITIF%202013.pdf](http://www.ci.undp.org/content/dam/cote_divoire/docs/rapports/PNUD%20RAPPORT%20FINAL%20DEFINITIF%202013.pdf)
- Yao, T. B., Servat, E. and Paturel, J.-E. (1998) 'Contribution à l'analyse des inter-relations entre activités humaines et variabilité climatique: cas du Sud forestier ivoirien', *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 327(12), pp. 833–838.
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 278 p.
- Yoshida, S., & Reyes, E. D. L. (1976). Leaf cuticular resistance of rice varieties. *Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 95–98. <https://doi.org/10.1080/00380768.1976.10432971>
- Zhao, D. L., Atlin, G. N., Bastiaans, L., & Spiertz, J. H. J. (2006). Developing selection protocols for weed competitiveness in aerobic rice. *Field Crops Research*, 97(2), 272–285. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.10.008>

# Annexes

## Annexe 1 : Quelques images des travaux de l'expérimentation au champ



Préparation du terrain



Identification des parcelles élémentaires



Dispositif expérimental



Dispositif expérimental



Semis en lignes



Semis en lignes



**Sarclage**



**Sarclage**



**Traitement herbicide**



**Traitement herbicide**



**Paillage**



**Parcelle Paillée**



Collecte de données



Collecte de données



Surveillance des parcelles à maturité



Surveillance des parcelles à maturité



Parcelle soumise au traitement T6 à maturité



Parcelle soumise au traitement T3 à maturité



Parcelle à maturité



Parcelle à maturité



Récolte



Parcelle Récoltée



Travaux au laboratoire



Travaux au laboratoire

## Annexe 2 : Valeurs des principaux paramètres utilisés dans les modèles PYE et PYE-IWM

Nom du Paramètre	Description	Valeur
Tdmin	Température minimum pour le développement (°C)	9
Tdmax	Température maximum pour le développement (°C)	40
Tdopt	Température optimum pour le développement (°C)	30
Tcmin	Température base de la conversion de lumière en biomasse (°C)	10
tcmax	Température maximale de la conversion de lumière en biomasse (°C)	42
tcopt	Température optimale de la conversion de lumière en biomasse (°C)	29
Tcold	Température seuil de sensibilité au froid (°C)	9
NDieCold	Nombre maximal de jours inférieurs à Tcold supportable par la culture sans mortalité	5
Kext	Coefficient d'extinction du rayonnement	0,5
dLAI <sub>max</sub>	Vitesse de croissance maximale de la surface foliaire d'une plante par degré (m <sup>2</sup> .°C <sup>-1</sup> )	0.00018
LAI <sub>mat</sub>	LAI résiduel à maturité	0
Eb <sub>max</sub>	Coefficient de conversion maximale du rayonnement	2,25
HI <sub>max</sub>	Indice de récolte maximal	0.5
Pl <sub>grainMax</sub>	Poids maximal de 1 grain (g)	0.04
Ngr <sub>max</sub>	Nombre maximal de grains par plante	1000
Vitircarb	Augmentation journalière de l'indice de récolte (gDM.d-1)	0.034
C <sub>grain</sub>	Coefficient empirique de croissance journalière du nombre de grains pendant la durée de remplissage des grains, par unité de matière sèche produite à cette période (gMS <sup>-1</sup> )	855
C <sub>grainv0</sub>	Nombre de grains mis en place si croissance nulle pendant la durée de remplissage des grains (grains.m <sup>-2</sup> )	-1775
K <sub>max</sub>	Coefficient cultural maximal (avec ETP Penman)	1,12
Pfactor	Seuil d'action de la contrainte hydrique sur la transpiration	0,45
SeuilTurg	Seuil d'effet de la contrainte hydrique sur la croissance du LAI	0,45
SeuilWS	Seuil d'effet de la contrainte hydrique sur la croissance de la biomasse	0,35
DeltaRacMax	Croissance du front racinaire par unité de temps thermique (cm/°Cjour)	0,08
Zracmax	Cote maximale atteignable par les racines (m)	1
Zger	Epaisseur de l'horizon du sol considéré pour la levée (cm)	15
Tger	Température de base pour la germination et levée (°C)	8
CTL	Constante thermique à la date de levée (degrés-jours)	115
aGer	Seuil de condition hydrique potentielle pour la germination	0,14
$\alpha$	coefficient de l'effet sarclage	0,001
$t_\alpha$	durée d'action de l'effet sarclage	25
$\beta$	Coefficient de l'effet herbicide de pré-émergence	0,01
$t_\beta$	Durée d'action de l'effet herbicide de pré-émergence	60
$\mu$	coefficient de l'effet herbicide de post-émergence	0,5
$t_\mu$	Durée d'action de l'effet herbicide de post-émergence	25
$\pi$	coefficient de l'effet paillage	0,99
$t_\pi$	Durée d'action de l'effet paillage	90

### Annexe 3 : Résultats des paramètres du riz sur les essais agronomiques de 2016 et 2017

année	trait	antraït	bloc	bloctrait	dsl	dst	des	dsf	dsm	tal	talfert	txtalfert	pani	epipani	epipan	epivpan	steril	pmg	rdtg	biomriz
2016	T0	T02016	R1	R1T0	18	38	73	85	113	88	32	36	32	52	10	42	81	16	58	142
2016	T0	T02016	R2	R2T0	19	40	74	84	115	92	34	37	34	48	8	40	83	16	28	81
2016	T0	T02016	R3	R3T0	18	39	75	83	114	95	36	38	36	55	13	42	77	16	57	140
2016	T1	T12016	R1	R1T1	19	38	73	83	114	183	79	43	79	75	15	60	79	18	218	463
2016	T1	T12016	R2	R2T1	17	37	74	84	113	187	72	41	72	78	21	57	73	19	279	585
2016	T1	T12016	R3	R3T1	18	39	73	84	113	180	85	45	85	73	18	55	75	18	276	578
2016	T2	T22016	R1	R1T2	18	37	73	84	112	115	42	36	42	62	15	47	75	16	106	237
2016	T2	T22016	R2	R2T2	19	39	74	83	114	108	41	38	41	65	13	52	80	17	37	99
2016	T2	T22016	R3	R3T2	17	38	73	83	113	102	38	37	38	67	10	57	85	16	61	148
2016	T3	T32016	R1	R1T3	18	39	72	83	114	135	53	39	53	72	15	57	79	16	134	295
2016	T3	T32016	R2	R2T3	19	38	74	84	113	125	46	36	46	70	12	58	83	18	91	209
2016	T3	T32016	R3	R3T3	18	38	73	82	113	120	43	37	43	75	18	57	76	17	166	357
2016	T4	T42016	R1	R1T4	18	37	74	83	111	173	69	40	69	73	19	54	75	14	225	476
2016	T4	T42016	R2	R2T4	18	37	73	82	114	178	75	42	75	75	17	58	78	16	219	465
2016	T4	T42016	R3	R3T4	19	38	73	84	114	176	72	41	72	70	14	56	79	15	191	403
2016	T5	T52016	R1	R1T5	19	38	73	84	113	130	47	36	47	71	16	55	77	17	127	279
2016	T5	T52016	R2	R2T5	17	38	72	83	112	125	46	37	46	68	12	56	82	17	92	212
2016	T5	T52016	R3	R3T5	18	37	74	83	114	120	45	38	45	73	14	59	81	17	140	306
2016	T6	T62016	R1	R1T6	18	38	73	83	113	136	56	41	56	70	18	52	74	18	178	383
2016	T6	T62016	R2	R2T6	18	38	74	84	114	131	50	39	50	72	13	59	82	17	113	252
2016	T6	T62016	R3	R3T6	19	37	72	82	113	133	53	40	53	75	16	59	78	16	149	324
2016	T7	T72016	R1	R1T7	17	37	73	82	113	108	44	39	44	70	17	53	76	17	121	269
2016	T7	T72016	R2	R2T7	19	37	73	83	112	105	35	35	35	68	13	55	81	17	89	204
2016	T7	T72016	R3	R3T7	18	38	74	84	114	109	40	37	40	65	11	54	83	16	73	172
2017	T0	T02017	R1	R1T0	14	36	73	89	101	325	175	54	175	63	50	13	21	21	226	479
2017	T0	T02017	R2	R2T0	15	36	74	88	100	125	100	80	100	45	27	18	40	18	152	329

année	trait	antrait	bloc	bloctrait	dsl	dst	des	dsf	dsm	tal	talfert	txtalfert	pani	epipani	epipan	epivpan	steril	pmg	rdtg	biomriz
2017	T0	T02017	R3	R3T0	13	35	72	90	102	225	138	61	138	54	39	15	28	23	301	628
2017	T1	T12017	R1	R1T1	14	34	72	83	99	500	358	72	358	165	100	65	39	27	3163	6352
2017	T1	T12017	R2	R2T1	14	33	73	84	98	550	337	61	337	175	123	52	30	28	2695	5417
2017	T1	T12017	R3	R3T1	13	34	71	82	100	600	380	63	380	175	144	31	18	28	3071	6169
2017	T2	T22017	R1	R1T2	13	34	70	83	98	375	275	73	275	111	90	21	19	23	1523	3072
2017	T2	T22017	R2	R2T2	14	34	69	82	99	463	310	67	310	124	104	20	16	27	1853	3733
2017	T2	T22017	R3	R3T2	14	33	71	84	99	550	290	53	290	120	79	41	34	19	1217	2460
2017	T3	T32017	R1	R1T3	15	34	71	84	99	375	330	88	330	167	138	29	17	27	2759	5543
2017	T3	T32017	R2	R2T3	14	33	70	83	100	325	310	95	310	157	129	28	18	27	3238	6501
2017	T3	T32017	R3	R3T3	14	34	71	84	98	350	285	81	285	144	119	25	17	27	1939	3905
2017	T4	T42017	R1	R1T4	14	34	70	84	98	525	400	76	400	164	143	21	13	29	4095	8216
2017	T4	T42017	R2	R2T4	14	34	71	83	100	600	350	58	350	175	150	25	14	26	2425	4877
2017	T4	T42017	R3	R3T4	15	33	72	84	99	450	300	67	300	172	136	36	21	24	2835	5696
2017	T5	T52017	R1	R1T5	14	35	69	83	99	325	192	59	192	173	120	53	31	22	1206	2439
2017	T5	T52017	R2	R2T5	13	34	70	84	98	350	150	43	150	135	106	29	21	22	1245	2516
2017	T5	T52017	R3	R3T5	15	34	69	84	100	375	233	62	233	151	111	40	26	23	1305	2636
2017	T6	T62017	R1	R1T6	14	35	70	83	100	550	300	55	300	131	112	19	15	24	978	1981
2017	T6	T62017	R2	R2T6	15	34	70	83	99	350	250	71	250	152	120	32	21	25	1830	3687
2017	T6	T62017	R3	R3T6	14	34	69	84	98	375	200	53	200	131	102	29	22	23	1254	2533
2017	T7	T72017	R1	R1T7	14	34	70	85	99	450	233	52	233	170	98	26	15	26	1528	3083
2017	T7	T72017	R2	R2T7	14	33	69	82	98	300	257	86	257	113	103	21	18	27	2289	4604
2017	T7	T72017	R3	R3T7	15	34	71	83	100	225	210	93	210	86	109	17	20	27	2691	5408
2017	T8	T82017	R1	R1T8	14	35	68	84	98	350	255	73	255	140	106	34	24	25	1553	3133
2017	T8	T82017	R2	R2T8	15	36	69	82	99	325	230	71	230	132	113	19	14	23	1937	3900
2017	T8	T82017	R3	R3T8	14	34	69	83	100	375	240	64	240	148	116	32	22	21	1740	3505
2017	T9	T92017	R1	R1T9	13	35	67	82	98	210	160	76	160	129	102	17	13	27	1021	2068
2017	T9	T92017	R2	R2T9	15	36	68	84	99	200	130	65	130	101	88	16	16	25	721	1469
2017	T9	T92017	R3	R3T9	14	34	68	83	99	240	110	46	110	91	85	13	14	26	1051	2129
2017	T0	T02017	R2	R2T0	21	42	76	91	117	65	68	71	68	56	31	25	45	11	98	223

année	trait	antrait	bloc	bloctrait	dsl	dst	des	dsf	dsm	tal	talfert	txtalfert	pani	epipani	epipan	epivpan	steril	pmg	rdtg	biomriz
2017	T0	T02017	R3	R3T0	17	38	74	90	119	70	165	86	165	63	39	24	38	14	95	217
2017	T1	T12017	R1	R1T1	16	35	70	85	113	185	155	95	155	125	92	33	26	24	1521	3068
2017	T1	T12017	R2	R2T1	12	32	69	84	110	165	130	76	130	130	98	32	25	21	1152	2331
2017	T1	T12017	R3	R3T1	16	37	71	83	112	175	165	86	165	120	94	26	22	23	1229	2484
2017	T2	T22017	R1	R1T2	19	38	74	88	114	175	140	89	140	135	90	45	33	12	691	1408
2017	T2	T22017	R2	R2T2	20	40	75	89	116	170	135	76	135	129	85	44	34	12	623	1273
2017	T2	T22017	R3	R3T2	17	38	73	87	117	180	150	78	150	131	85	46	35	13	601	1228
2017	T3	T32017	R1	R1T3	20	41	74	89	117	215	165	84	165	140	105	35	25	20	846	1718
2017	T3	T32017	R2	R2T3	18	37	73	88	116	202	160	87	160	126	103	23	18	20	864	1755
2017	T3	T32017	R3	R3T3	20	40	75	90	119	235	150	51	150	151	100	51	34	19	842	1710
2017	T4	T42017	R1	R1T4	16	35	72	84	112	280	175	54	175	133	90	43	32	26	1008	2043
2017	T4	T42017	R2	R2T4	16	35	71	86	114	320	180	63	180	140	82	58	41	25	971	1969
2017	T4	T42017	R3	R3T4	16	35	70	85	113	300	170	58	170	130	95	35	27	25	921	1868
2017	T5	T52017	R1	R1T5	20	39	74	89	118	200	150	75	150	143	102	41	29	20	760	1546
2017	T5	T52017	R2	R2T5	20	41	75	88	117	220	140	61	140	145	98	47	32	21	715	1457
2017	T5	T52017	R3	R3T5	17	36	73	90	115	230	135	61	135	140	100	40	29	20	710	1446
2017	T6	T62017	R1	R1T6	18	38	73	86	114	300	150	50	150	145	99	46	32	23	880	1787
2017	T6	T62017	R2	R2T6	18	38	74	88	117	280	140	46	140	143	103	40	28	24	863	1753
2017	T6	T62017	R3	R3T6	19	37	72	87	116	270	160	63	160	149	93	56	38	24	865	1756
2017	T7	T72017	R1	R1T7	17	37	73	88	116	245	150	61	150	100	70	30	30	20	602	1229
2017	T7	T72017	R2	R2T7	20	38	74	87	115	210	140	62	140	102	73	29	28	18	585	1196
2017	T7	T72017	R3	R3T7	16	36	72	86	113	220	135	66	135	101	75	26	26	18	549	1125
2017	T8	T82017	R1	R1T8	20	43	74	88	118	240	200	77	200	113	76	37	33	17	646	1317
2017	T8	T82017	R2	R3T8	20	41	75	89	117	260	190	77	190	110	74	36	33	17	621	1268
2017	T8	T82017	R3	R3T8	17	39	73	87	115	250	185	76	185	118	80	38	32	18	611	1248
2017	T9	T92017	R1	R1T9	16	38	70	85	114	180	150	81	150	106	88	18	17	23	592	1211
2017	T9	T92017	R2	R3T9	16	36	71	84	111	200	160	78	160	102	77	25	25	21	629	1285
2017	T9	T92017	R3	R3T9	18	37	69	83	113	220	165	80	165	99	70	29	29	20	623	1273

#### Annexe 4: Résultats des paramètres de la population d'adventices sur les essais de 2016 et 2017

année	jas	trait	antrait	bloc	hautriz	biomriz	lai	densad	biomad	nradv
2016	45JAS	T0	T0_2016	R1	57,71	81,03	0,69	119	72,72	7,00
2016	45JAS	T0	T0_2016	R2	60,25	78,63	0,71	117	67,36	9,00
2016	45JAS	T0	T0_2016	R3	55,17	83,55	0,67	115	70,54	8,00
2016	45JAS	T1	T1_2016	R1	71,25	123,00	1,02	0	0,00	0,00
2016	45JAS	T1	T1_2016	R2	72,75	124,15	1,00	0	0,00	0,00
2016	45JAS	T1	T1_2016	R3	73,75	127,00	1,03	0	0,00	0,00
2016	45JAS	T2	T2_2016	R1	56,08	102,03	1,11	26	22,24	2,00
2016	45JAS	T2	T2_2016	R2	55,12	106,29	1,09	20	20,84	3,00
2016	45JAS	T2	T2_2016	R3	54,17	110,55	1,06	23	18,54	4,00
2016	45JAS	T3	T3_2016	R1	68,50	102,75	1,11	23	19,58	2,00
2016	45JAS	T3	T3_2016	R2	67,50	106,99	1,06	19	18,12	2,00
2016	45JAS	T3	T3_2016	R3	68,00	111,23	1,05	21	21,04	3,00
2016	45JAS	T4	T4_2016	R1	70,00	114,53	1,05	6	13,60	1,00
2016	45JAS	T4	T4_2016	R2	70,58	112,55	1,06	23	15,96	2,00
2016	45JAS	T4	T4_2016	R3	69,29	116,50	1,04	14	14,78	1,00
2016	45JAS	T5	T5_2016	R1	69,46	105,08	1,05	22	20,36	3,00
2016	45JAS	T5	T5_2016	R2	70,33	107,08	1,09	18	17,04	2,00
2016	45JAS	T5	T5_2016	R3	68,58	103,03	1,10	20	18,70	3,00
2016	45JAS	T6	T6_2016	R1	69,50	112,45	1,06	25	20,84	3,00
2016	45JAS	T6	T6_2016	R2	68,08	114,58	1,04	23	19,78	2,00
2016	45JAS	T6	T6_2016	R3	69,92	110,33	1,08	21	18,72	2,00
2016	45JAS	T7	T7_2016	R1	64,41	109,68	1,05	41	32,36	4,00
2016	45JAS	T7	T7_2016	R2	65,62	103,28	1,12	40	31,16	3,00
2016	45JAS	T7	T7_2016	R3	66,83	106,98	1,08	43	33,56	2,00
2017	45JAS	T0	T0_2017	R1	56,33	323,90	0,89	459	456,10	9,00
2017	45JAS	T0	T0_2017	R2	55,56	319,53	0,84	455	449,00	8,00
2017	45JAS	T0	T0_2017	R3	54,44	316,78	0,79	468	451,80	7,00
2017	45JAS	T1	T1_2017	R1	72,83	2050,90	1,38	0	0,00	0,00
2017	45JAS	T1	T1_2017	R2	75,33	2065,90	1,56	0	0,00	0,00
2017	45JAS	T1	T1_2017	R3	70,33	2082,90	1,47	0	0,00	0,00
2017	45JAS	T2	T2_2017	R1	73,89	1052,78	1,17	42	29,42	2,00
2017	45JAS	T2	T2_2017	R2	75,33	1084,03	1,23	46	30,36	3,00
2017	45JAS	T2	T2_2017	R3	72,45	1066,53	1,13	44	28,48	3,00
2017	45JAS	T3	T3_2017	R1	75,67	908,65	1,17	28	12,64	3,00
2017	45JAS	T3	T3_2017	R2	74,67	890,03	1,12	26	9,14	3,00
2017	45JAS	T3	T3_2017	R3	72,67	896,96	1,06	25	11,64	2,00
2017	45JAS	T4	T4_2017	R1	72,89	1409,40	1,28	20	4,24	3,00
2017	45JAS	T4	T4_2017	R2	78,67	1399,53	1,33	18	2,44	2,00
2017	45JAS	T4	T4_2017	R3	75,78	1415,03	1,38	21	6,04	2,00
2017	45JAS	T5	T5_2017	R1	67,89	1054,15	1,15	46	30,84	3,00
2017	45JAS	T5	T5_2017	R2	70,11	1144,65	1,20	41	27,12	2,00
2017	45JAS	T5	T5_2017	R3	72,33	1160,15	1,25	44	28,98	4,00
2017	45JAS	T6	T6_2017	R1	76,33	1463,40	1,35	21	6,22	1,00
2017	45JAS	T6	T6_2017	R2	72,00	1454,03	1,39	19	6,01	3,00
2017	45JAS	T6	T6_2017	R3	75,00	1408,40	1,28	24	6,43	2,00
2017	45JAS	T7	T7_2017	R1	79,00	1720,78	1,52	107	90,72	2,00
2017	45JAS	T7	T7_2017	R2	74,67	1700,78	1,41	101	87,32	3,00
2017	45JAS	T7	T7_2017	R3	76,00	1711,78	1,46	103	94,12	4,00
2017	45JAS	T8	T8_2017	R1	73,67	1549,03	1,34	127	114,32	5,00
2017	45JAS	T8	T8_2017	R2	72,33	1534,65	1,44	125	112,80	6,00
2017	45JAS	T8	T8_2017	R3	75,00	1539,84	1,39	128	115,84	4,00
2017	45JAS	T9	T9_2017	R1	70,33	1113,03	1,26	65	51,02	5,00
2017	45JAS	T9	T9_2017	R2	73,67	1109,15	1,19	60	46,02	4,00
2017	45JAS	T9	T9_2017	R3	72,33	1101,78	1,13	62	48,16	3,00
2016	80JAS	T0	T0_2016	R1	58,44	188,07	1,14	255	250,15	7,00
2016	80JAS	T0	T0_2016	R2	56,47	200,76	1,20	261	255,15	9,00
2016	80JAS	T0	T0_2016	R3	60,40	184,37	1,07	258	260,15	8,00
2016	80JAS	T1	T1_2016	R1	76,31	376,99	1,37	0	0,00	0,00
2016	80JAS	T1	T1_2016	R2	74,73	380,19	1,60	0	0,00	0,00
2016	80JAS	T1	T1_2016	R3	75,52	378,59	1,48	0	0,00	0,00
2016	80JAS	T2	T2_2016	R1	66,67	365,94	1,20	93	80,95	8,00
2016	80JAS	T2	T2_2016	R2	69,00	372,14	1,01	89	74,96	6,00
2016	80JAS	T2	T2_2016	R3	68,33	368,70	1,10	91	77,95	8,00
2016	80JAS	T3	T3_2016	R1	71,33	369,99	1,26	61	46,51	5,00
2016	80JAS	T3	T3_2016	R2	69,33	374,39	1,03	57	43,21	4,00
2016	80JAS	T3	T3_2016	R3	72,33	378,78	1,51	65	49,82	6,00
2016	80JAS	T4	T4_2016	R1	73,33	385,60	1,82	55	37,81	4,00

année	jas	trait	antrait	bloc	hautriz	biomriz	lai	densad	biomad	nradv
2016	80JAS	T4	T4_2016	R2	74,33	390,94	1,71	50	35,58	4,00
2016	80JAS	T4	T4_2016	R3	76,67	381,28	1,60	45	33,34	3,00
2016	80JAS	T5	T5_2016	R1	68,67	407,65	1,15	64	50,04	6,00
2016	80JAS	T5	T5_2016	R2	66,67	404,50	1,39	61	47,15	5,00
2016	80JAS	T5	T5_2016	R3	70,67	410,80	1,27	58	42,20	5,00
2016	80JAS	T6	T6_2016	R1	69,67	378,86	1,81	60	40,04	5,00
2016	80JAS	T6	T6_2016	R2	73,33	374,55	1,58	45	38,94	5,00
2016	80JAS	T6	T6_2016	R3	72,33	371,39	1,15	53	36,21	4,00
2016	80JAS	T7	T7_2016	R1	69,00	352,80	1,48	74	59,04	7,00
2016	80JAS	T7	T7_2016	R2	67,00	360,29	1,10	70	57,72	5,00
2016	80JAS	T7	T7_2016	R3	71,00	373,78	1,17	78	63,36	7,00
2017	80JAS	T0	T0_2017	R1	74,00	511,53	1,03	545	619,16	7,00
2017	80JAS	T0	T0_2017	R2	73,33	508,28	1,00	550	615,66	9,00
2017	80JAS	T0	T0_2017	R3	77,67	520,78	1,05	543	628,66	8,00
2017	80JAS	T1	T1_2017	R1	97,19	3790,06	2,50	0	0,00	0,00
2017	80JAS	T1	T1_2017	R2	97,59	3828,78	2,62	0	0,00	0,00
2017	80JAS	T1	T1_2017	R3	96,79	3781,34	2,39	0	0,00	0,00
2017	80JAS	T2	T2_2017	R1	95,17	2610,12	1,97	142	129,88	3,50
2017	80JAS	T2	T2_2017	R2	97,67	2602,3	1,76	140	126,88	4,00
2017	80JAS	T2	T2_2017	R3	98,67	2629,95	2,18	146	135,88	4,50
2017	80JAS	T3	T3_2017	R1	106,33	2250,5	1,92	20	5,8	3,00
2017	80JAS	T3	T3_2017	R2	102,00	2221,4	1,68	21	6	3,50
2017	80JAS	T3	T3_2017	R3	99,67	2220,95	1,8	23	7,2	2,50
2017	80JAS	T4	T4_2017	R1	104,00	3887,05	2,45	21	5,2	4,00
2017	80JAS	T4	T4_2017	R2	111,50	3987,25	2,59	18	4,2	3,50
2017	80JAS	T4	T4_2017	R3	116,00	4087,45	2,72	23	6,39	2,50
2017	80JAS	T5	T5_2017	R1	101,67	1901,775	1,36	67	51,04	3,50
2017	80JAS	T5	T5_2017	R2	97,33	1920,65	1,92	60	46,62	3,00
2017	80JAS	T5	T5_2017	R3	98,00	1917,275	1,69	57	43,62	3,00
2017	80JAS	T6	T6_2017	R1	102,33	1712,02	1,57	20	5,2	3,50
2017	80JAS	T6	T6_2017	R2	104,33	1724,8	1,54	18	4	2,50
2017	80JAS	T6	T6_2017	R3	107,33	1735,25	1,6	23	6,4	2,50
2017	80JAS	T7	T7_2017	R1	92,00	1698,2	1,56	226	226,14	5,00
2017	80JAS	T7	T7_2017	R2	96,00	1706,65	1,83	237	228,88	4,50
2017	80JAS	T7	T7_2017	R3	94,00	1719,75	1,3	240	220,4	6,00
2017	80JAS	T8	T8_2017	R1	95,67	1976,15	1,68	265	256,56	6,50
2017	80JAS	T8	T8_2017	R2	102,33	1990,8	1,81	269	260,4	7,50
2017	80JAS	T8	T8_2017	R3	100,33	2012,3	1,59	261	252,72	5,50
2017	80JAS	T9	T9_2017	R1	93,16	1487,55	1,48	209	197,98	6,00
2017	80JAS	T9	T9_2017	R2	94,33	1427,55	1,27	202	193,46	4,50
2017	80JAS	T9	T9_2017	R3	92,00	1457,55	1,45	200	189,72	3,50
2017	45JAS	T0	T0_2017	R1	59,33	38,89	0,72	431,00	456,10	9,00
2017	45JAS	T0	T0_2017	R2	57,04	42,00	0,72	427,00	429,00	9,00
2017	45JAS	T0	T0_2017	R3	61,28	39,84	0,71	446,00	471,80	9,00
2017	45JAS	T1	T1_2017	R1	68,06	278,80	0,82	0,00	0,00	0,00
2017	45JAS	T1	T1_2017	R2	70,58	264,96	0,77	0,00	0,00	0,00
2017	45JAS	T1	T1_2017	R3	64,51	306,16	0,89	0,00	0,00	0,00
2017	45JAS	T2	T2_2017	R1	68,76	158,67	0,75	34,14	19,25	2,33
2017	45JAS	T2	T2_2017	R2	69,66	154,92	0,80	33,30	18,38	2,33
2017	45JAS	T2	T2_2017	R3	72,78	156,11	0,75	32,77	17,84	2,67
2017	45JAS	T3	T3_2017	R1	71,07	176,64	0,83	31,72	14,64	3,00
2017	45JAS	T3	T3_2017	R2	72,40	183,29	0,78	25,82	12,92	2,25
2017	45JAS	T3	T3_2017	R3	68,43	161,40	0,71	28,80	13,64	2,00
2017	45JAS	T4	T4_2017	R1	68,15	217,48	0,78	19,10	5,69	1,50
2017	45JAS	T4	T4_2017	R2	67,27	240,12	0,82	23,39	7,30	1,60
2017	45JAS	T4	T4_2017	R3	63,51	216,72	0,79	22,30	6,04	2,00
2017	45JAS	T5	T5_2017	R1	69,60	235,41	0,76	33,13	18,21	2,57
2017	45JAS	T5	T5_2017	R2	70,59	247,04	0,76	38,99	24,81	3,50
2017	45JAS	T5	T5_2017	R3	71,77	210,04	0,88	36,78	21,39	2,50
2017	45JAS	T6	T6_2017	R1	71,29	371,74	0,89	71,29	55,88	1,43
2017	45JAS	T6	T6_2017	R2	69,41	375,83	0,84	61,27	50,08	2,80
2017	45JAS	T6	T6_2017	R3	70,28	369,58	0,86	73,81	57,69	2,80
2017	45JAS	T7	T7_2017	R1	69,47	491,26	0,82	50,45	35,31	2,57
2017	45JAS	T7	T7_2017	R2	71,62	512,51	0,85	46,15	30,32	3,00
2017	45JAS	T7	T7_2017	R3	72,70	480,02	1,08	41,13	28,44	1,87
2017	45JAS	T8	T8_2017	R1	70,53	395,31	0,83	38,00	24,15	2,69
2017	45JAS	T8	T8_2017	R2	68,69	377,18	0,93	41,00	27,29	2,80
2017	45JAS	T8	T8_2017	R3	70,48	386,24	0,85	43,00	26,66	2,55
2017	45JAS	T9	T9_2017	R1	72,57	322,63	0,78	159,00	160,69	3,93

année	jas	trait	antrait	bloc	hautriz	biomriz	lai	densad	biomad	nradv
2017	45JAS	T9	T9_2017	R2	76,82	339,06	0,89	155,00	134,25	4,50
2017	45JAS	T9	T9_2017	R3	74,32	365,30	0,87	152,00	137,41	6,50
2017	80JAS	T0	T0_2017	B1	83,00	74,15	0,83	483,35	543,66	9,00
2017	80JAS	T0	T0_2017	B2	81,00	69,40	0,82	475,85	553,66	9,00
2017	80JAS	T0	T0_2017	B3	86,00	63,78	0,83	472,70	558,66	9,00
2017	80JAS	T1	T1_2017	B1	100,00	707,15	1,11	0,00	0,00	0,00
2017	80JAS	T1	T1_2017	B2	99,00	698,40	0,97	0,00	0,00	0,00
2017	80JAS	T1	T1_2017	B3	99,67	715,65	1,26	0,00	0,00	0,00
2017	80JAS	T2	T2_2017	B1	94,33	374,90	0,94	95,56	81,04	3,50
2017	80JAS	T2	T2_2017	B2	92,67	368,05	0,95	87,56	75,04	3,50
2017	80JAS	T2	T2_2017	B3	95,00	380,85	1,00	92,11	79,46	4,00
2017	80JAS	T3	T3_2017	B1	98,00	523,75	0,97	34,48	21,62	2,50
2017	80JAS	T3	T3_2017	B2	95,33	510,85	0,99	31,02	12,20	3,00
2017	80JAS	T3	T3_2017	B3	100,33	541,30	1,13	26,48	13,20	2,50
2017	80JAS	T4	T4_2017	B1	97,67	791,85	1,10	24,48	11,20	2,50
2017	80JAS	T4	T4_2017	B2	99,00	804,45	1,34	26,92	12,20	2,00
2017	80JAS	T4	T4_2017	B3	91,33	762,65	1,01	30,48	13,22	2,50
2017	80JAS	T5	T5_2017	B1	99,00	360,65	0,88	48,02	36,62	3,00
2017	80JAS	T5	T5_2017	B2	97,00	350,65	0,96	53,56	38,04	3,50
2017	80JAS	T5	T5_2017	B3	102,00	370,53	1,04	51,48	35,20	2,50
2017	80JAS	T6	T6_2017	B1	98,67	566,25	1,19	64,48	40,20	2,50
2017	80JAS	T6	T6_2017	B2	96,33	544,55	0,95	61,56	48,04	3,50
2017	80JAS	T6	T6_2017	B3	101,33	581,50	1,01	57,56	53,04	3,50
2017	80JAS	T7	T7_2017	B1	91,33	487,85	0,99	122,65	110,88	4,50
2017	80JAS	T7	T7_2017	B2	92,33	536,05	1,02	125,65	118,88	4,50
2017	80JAS	T7	T7_2017	B3	93,67	546,75	1,08	118,56	100,04	3,50
2017	80JAS	T8	T8_2017	B1	92,00	402,86	0,97	83,56	71,04	3,50
2017	80JAS	T8	T8_2017	B2	94,67	415,45	1,11	78,56	63,04	3,50
2017	80JAS	T8	T8_2017	B3	96,33	431,95	1,03	82,56	70,04	3,50
2017	80JAS	T9	T9_2017	B1	96,67	368,15	0,99	205,73	193,72	5,50
2017	80JAS	T9	T9_2017	B2	93,33	352,30	0,95	195,65	190,88	4,50
2017	80JAS	T9	T9_2017	B3	94,33	379,95	0,95	209,81	196,56	6,50

## **PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES**

Le premier article issu de cette thèse et intitulé « Effets d'une lutte intégrée contre les adventices sur les performances agronomiques du riz pluvial en zone pré-forestière ivoirienne » a fait l'objet de publication dans le journal *Journal of Animal & Plant Sciences* le 31 octobre 2018. Il est présenté ci-dessous.

Un second article intitulé « Identification des risques climatiques en riziculture pluviale dans le centre de la Côte d'Ivoire » a été soumis le 31 juillet 2019 au journal *Agronomie Africaine* pour publication.



# Effets d'une lutte intégrée contre les adventices sur les performances agronomiques du riz pluvial en zone pré-forestière ivoirienne

Kouassi Désiré Anicet<sup>1</sup>(\*), Kouakou Kouadio Paul-Martial<sup>1,2</sup>, Brou Yao Casimir<sup>1,2</sup>

1. Unité Mixte de Recherche et d'Innovation en Sciences Agronomiques et Génie Rural (UMRI 28), Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

2. Département Agriculture et Ressources Animales, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

(\*) Auteur correspondant : [kouades@yahoo.fr](mailto:kouades@yahoo.fr)

**Mots-clés** : riz pluvial, méthodes de lutte intégrée, adventices, Côte d'Ivoire pré-forestière, Yamoussoukro.

**Keywords**: rainfed rice, integrated weed management, weeds, Cote d'Ivoire pre-forest zone, Yamoussoukro.

---

## 1 RÉSUMÉ

Cette étude visait à évaluer, en zone pré-forestière ivoirienne, l'effet de huit (08) méthodes de lutte intégrée contre les adventices sur les performances agronomiques du riz pluvial.

Huit (08) méthodes de lutte intégrée contre les adventices ont été évaluées dans un essai installé en milieu paysan, suivant un dispositif en blocs complets randomisés avec 3 répétitions, durant la seconde moitié de la saison des pluies de 2016 et de 2017. La flore adventice naturelle a été identifiée et l'effet des traitements sur le contrôle des adventices et sur le rendement en grains du riz étudié. Les résultats ont montré que la flore adventice naturelle est composée des Poacées (55%), des Adventices à feuilles larges (44%) et des Cypéracées (1%), avec respectivement *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Wiild., *Croton hirtus* L'Hér. et *Cyperus sphacelatus* Rottb. comme espèces les plus représentatives. En dehors de la parcelle maintenue propre, le traitement T4, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage + paillage ( 3t/ha de paille de riz) : 1JAS+21 JAS +21 JAS, suivi du traitement T3, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS, ont permis d'obtenir les meilleures maîtrises des adventices. Tandis que les traitements T4, T3 et T6, Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage + paillage (3t/ha de paille de riz) : 14JAS+ 30JAS+30JAS , ont permis d'obtenir les meilleurs rendements qui sont respectivement de 589,34 kg/ha , 490,65 kg/ha et de 508,17 kg/ha.

Pour une meilleure maîtrise des adventices en riziculture pluviale dans la zone pré-forestière ivoirienne, l'application en prélevée de 400g/l d'Oxadiargyl à 0,8 l/ha suivi d'un sarclage manuel et d'un paillage (3t/ha de paille de riz) à 21JAS peut être recommandée.



## ABSTRACT

This study aimed to investigate, in the Ivorian pre-forest zone and under strictly rainfed conditions, the effect of eight (08) integrated weed management methods on the agronomic performance of rainfed rice.

Eight (08) integrated weed management methods were evaluated in an on-farm trial, using a complete randomized block design with 3 repetitions, during the second half of the 2016 and 2017 rainy seasons. The natural weed flora was identified and the effect of integrated weed management methods on weed control and rice grain yields were analyzed. Results showed that weed flora is composed of Poaceae (55%), Broadleaf weeds (44%) and Cyperaceae (1%). *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd, *Croton hirtus* L'Hér., and *Cyperus sphacelatus* Rotth. were respectively the most abundant species of each abovementioned weeds group. Except for the positive control (weed-free plot), the treatment T4 (Pre-emergence herbicide (400 g/l Oxadiargyl) applied at 1 DAS at 0.8 l/ha followed by a hoeing and a mulching (3t /ha of rice straw) both performed at 21 DAS) and the treatment T3 (Pre-emergence herbicide (400 g/l Oxadiargyl) applied 1 DAS at 0.8 l/ha followed by a hoeing done at 21 DAS), provided the best weed control. While treatments T4, T3 and T6 (Post-emergence herbicide (360 g/l Propanil + 72 g/l Triclopyr) applied at 14 DAS at 4 l/ha followed by a hoeing and mulching (3t /ha of rice straw) both performed at 30 DAS) provided to obtain the best grain yields, respectively of 589.34 kg/ha, 490.65 kg/ha, and 508.17 kg/ha.

For a better weed control in rainfed rice growing in Cote d'Ivoire pre-forest zone, the application at 0,8 l/ha of a 400g/l d'Oxadiargyl based-pre-emergence herbicide followed by a hoeing and a mulching (3t /ha of rice straw) both performed at 21 DAS may be recommended.

## 2 INTRODUCTION

Face à la menace d'insécurité alimentaire, l'accroissement de la production nationale de riz par l'amélioration de la productivité des filières rizicoles est au cœur de la stratégie ivoirienne (ONDR, 2018). Un accent particulier est mis sur la productivité du riz pluvial qui, bien qu'il occupe 86% des surfaces exploitées et contribue à 80% de la production nationale de paddy, n'a qu'un rendement moyen de 0,8 t/ha contre 2,5t/ha pour la riziculture irriguée qui couvre uniquement 5% des surfaces exploitées et contribue pour 20% à la production nationale de paddy (Depieu *et al.*, 2010 ; APRAO, 2013). En effet, la productivité de la riziculture pluviale ivoirienne reste faible et est fortement contrariée d'une part, par les aléas climatiques qui génèrent des déficits hydriques importants (MINESUDD, 2014) et d'autre part, par les adventices qui

peuvent entraîner jusqu'à 50 voire 100% de pertes de récoltes dans certains cas (Mishra et Singh, 2007). Pour tamponner l'effet du risque climatique, l'on a recours à l'introduction de variétés à cycle court, compétitives vis-à-vis des adventices et plus résistantes au stress hydrique. C'est le cas du NERICA 1 introduit en Côte d'Ivoire en 1996 et utilisé comme moyen de lutte contre les risques climatiques (ADRAO 2008). Aussi, pour lutter contre les adventices, des méthodes de lutte intégrée sont promues afin de répondre à la fois aux exigences du contrôle efficace des adventices et de la protection de l'environnement (INRA 2005). C'est dans cette dynamique que se situe cette étude qui évalue l'effet de huit (08) méthodes de lutte intégrée contre les adventices sur les performances agronomiques du riz pluvial à Yamoussoukro.



### 3 MATÉRIELS ET MÉTHODE

**3.1 Zone d'étude et site expérimental :** Le site expérimental est une parcelle paysanne localisée sur un terroir villageois, à 1 km de l'aéroport de Yamoussoukro (latitude 6.904614 ; longitude : -5.362358 ; altitude : 206 m). Le climat est de type équatorial de transition avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1000 et 1500 mm et un régime pluviométrique monomodal avec deux saisons. La saison des pluies débute en mars et prend fin en novembre. La saison sèche débute en décembre et prend fin en février. La température moyenne est de 26°C et l'humidité relative varie entre 75% et 85%. Les sols sont sablo-argileux, de pH(H<sub>2</sub>O) de 5.5, de granulométrie 74.5% de sable, 13.5% d'argile et 9.5% de limon. Le relief est relativement plat avec de faibles pentes.

**3.2 Matériel végétal :** Le matériel végétal est constitué du NERICA 1 (Nouveau Riz pour l'Afrique) qui est compétitive vis-à-vis des adventices, résistante au stress hydrique et a un rendement potentiel en riz paddy de 4,5 t/ha. Les semences utilisées au cours des essais proviennent d'Africa Rice Côte d'Ivoire.

**3.3 Conduite des essais et dispositif expérimental :** deux (02) essais ont été conduits, en condition strictement pluviale, durant la seconde moitié de la saison des pluies, sur les années consécutives de 2016 et 2017. L'essai de 2016 a été semé le 05 septembre et celui de 2017 le 13 septembre. Les précédents culturaux étaient des jachères de moins d'un an. Les travaux de préparation de terrain ont consisté en un labour effectué à l'aide d'un tracteur à disques suivi d'un travail du sol à la houe pour préparer le lit de semis. Les essais ont été mis en place selon un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec 3 répétitions pour tenir compte de la pente observée sur le site expérimental. Chaque parcelle élémentaire était constituée de 20 lignes de 4 m sur une superficie de 16 m<sup>2</sup>. Chaque unité expérimentale de 16 m<sup>2</sup> comportait 400 poquets soit 25 poquets par m<sup>2</sup>. Le riz a été semé en poquet à raison de 6 graines en moyenne par poquet de 1 à 2 cm de profondeur et la géométrie de semis adoptée était de 0,20 m entre les lignes et 0,20 m entre les poquets, soit une densité de

250 000 poquets.ha<sup>-1</sup>. Les plants ont été démarriés à trois pieds par poquet, en condition humide, avant le tallage. Les parcelles ont été fertilisées par épandage d'engrais N-P-K 10-18-18 incorporée au semis à la dose de 300 kg/ha et par l'application d'urée à 30 JAS à la dose de 75 kg/ha. Des traitements phytosanitaires contre les insectes et les nématodes ont été effectués. Une barrière de protection a été installée pour éviter l'intrusion de ravageurs et la lutte contre les oiseaux granivores s'est déroulée de la floraison à la récolte. Les traitements suivants contre les adventices ont été évalués : T0 (témoin négatif), Parcelle enherbée du semis à la récolte ; T1 (témoin positif), Parcelle maintenue propre du semis à la récolte ; T2, 2 sarclages : 14JAS+21JAS ; T3, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS ; T4, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage + paillage ( 3t/ha de paille de riz) : 1JAS+21 JAS +21 JAS ; T5, Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage : 14JAS+ 30JAS ; T6, Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage + paillage (3t/ha de paille de riz) : 14JAS+ 30JAS+30JAS ; T7, sarclage + paillage (3t/ha de paille de riz) + Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) : 14JAS+14JAS+30JAS.

**3.4 Données climatiques :** les données climatiques journalières de 2016 et de 2017 proviennent de la station météorologique de la Société d'Exploitation de Développement Aéroportuaire Aéronautique Météo (SODEXAM), située à 1 km du site expérimental. Durant les deux années d'études, les températures maximales ont varié entre 26,6°C et 36,6 °C et les températures minimales entre 14°C et 24°C. L'année 2016 a connu un cumul pluviométrique de 1074 mm dont 291,8 mm tombés pendant l'essai et l'année 2017 un cumul de 1199,9 mm dont 343,8 mm tombés pendant l'essai.

**3.5 Paramètres observés, mesurés et calculés sur les adventices**



**3.5.1 Richesse floristique des adventices :** La technique du « tour de champs » qui consiste à parcourir les parcelles dans différentes directions jusqu'à ce que la découverte d'une espèce nouvelle nécessite un parcours important (Noba, 2002) a été utilisé pour faire l'inventaire des adventices du site expérimental. Les adventices ont été identifiées sur le site ou au laboratoire à l'aide de manuels de détermination (Akobundu et Agyakwa, 1989 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995 ; Johnson, 1997;).

**3.5.2 Note de recouvrement des adventices :** Des observations de recouvrement du sol ont été effectuées sur les placettes à 45 JAS, 80 JAS et à maturité du riz. A chaque observation, une note de propreté allant de 0 à 9 a été affectée à l'aire d'observation (CIRAD, 2000).

**3.5.3 Densité et biomasse sèche des adventices :** Les adventices des placettes de 1 m<sup>2</sup> ont été prélevés. Elles ont été comptées pour déterminer leur densité. Mises à l'étuve à 65°C pendant 72 heures puis pesées à l'aide d'une balance de précision, leurs biomasses sèches ont été déterminées.

**Efficacité du Contrôle des Adventices (ECA) :** L'ECA a été calculée suivant la formule :

$$ECAT_i (\%) = \frac{(BCT_0 - BCT_i)}{BCT_0} \times 100$$

avec ECAT<sub>i</sub> = Efficacité du Contrôle des adventices par le traitement T<sub>i</sub>; BCT<sub>0</sub> = Biomasse sèche des adventices obtenue avec le traitement T<sub>0</sub> et BCT<sub>i</sub> = Biomasse sèche des adventices obtenue avec le traitement T<sub>i</sub> (Hasanuzzaman, 2008).

**3.6 Paramètres agronomiques observés, mesurés et calculés sur le riz**

**3.6.1 Stades phénologiques :** Des placettes de 1 m<sup>2</sup> ont permis de déterminer les durées des stades phénologiques du riz de la levée (50% des plants ayant atteint le stade de 4 feuilles), du tallage (50% des plants à l'initiation paniculaire) ; de l'épiaison (50 % des plants ayant émis des panicules), de la floraison (50% des plants ayant

fleuri), de la maturité (50% des plants à maturité).

**3.6.2 Hauteur du riz :** Six plants, identifiés au préalable, ont été prélevés et ont permis de déterminer la hauteur du riz à 45 JAS. Six autres plants ont également permis de déterminer cette hauteur à 80 JAS.

**3.6.3 Indice de surface foliaire (LAI) :** A 45 JAS et à 80 JAS, sur chaque placette, un plant de riz présentant un développement moyen a été prélevé, ses feuilles ont été sectionnées puis scannées afin d'obtenir des images foliaires à partir desquelles l'indice de surface foliaire (LAI) a été déterminé grâce au logiciel d'analyse d'image IMAGEJ version 1.45s, 2012.

**3.6.4 Biomasse aérienne sèche du riz :** Six plants, identifiés au préalable, ont été prélevés et ont permis de déterminer la biomasse aérienne sèche du riz à 45 JAS. Six autres plants ont également permis de déterminer cette biomasse sèche à 80 JAS.

**3.6.5 Rendement paille :** six (06) plants du carré de rendement ont servi à déterminer le rendement en paille.

**3.6.6 Rendement grains et ses composantes :** Le rendement grains et ses composantes ont été déterminés à partir d'un carré de rendement de 4 m<sup>2</sup> placé au centre de chaque parcelle élémentaire et comportant les 100 poquets centraux.

**3.6.7 Perte Relative de Rendement (PRR) :** La PRR due aux adventices a été calculée suivant la formule :

$$PRRT_i (\%) = \frac{(RT_1 - RT_i)}{RT_1} \times 100,$$

avec PRRT = Perte Relative du Rendement du traitement T<sub>i</sub>; RT<sub>1</sub> = Rendement du traitement T<sub>1</sub>; RT<sub>i</sub> = Rendement du Traitement T<sub>i</sub>.

**3.6.7 Traitement et analyse de données :** Les données ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel XLSTAT version 2018 et le test de Tukey (1949), au seuil de 5%, a été utilisé pour la comparaison des moyennes afin d'opérer une ségrégation entre les traitements.



## 4 RÉSULTATS

### 4.1 Effets des traitements sur les adventices

**4.1.1 Richesse floristique :** la flore adventice naturelle comportait 73 espèces issues de 22 familles (tableau1). Les Poacées étaient les plus représentatives (55%) avec *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd. comme espèce la plus présente. Les Poacées étaient suivies des Adventices à feuilles larges (44%) avec *Croton birtus* L'Hér. comme espèce la plus fréquente. Enfin, les Adventices à feuilles large étaient suivis par les Cypéracées (1 %) avec *Cyperus sphacelatus* Rottb. comme espèce la plus représentée.

**4.1.2 Paramètres de développement et de croissance des adventices :** Concernant la note de recouvrement, la densité et la biomasse sèche des adventices, T1 a permis d'obtenir à 45 JAS et à 80 JAS, les valeurs les plus faibles, significativement différentes des valeurs les plus élevées obtenues avec T0, confirmant ainsi leurs rôles de témoins positif et négatif respectivement. Parmi les traitements intermédiaires, à 45 JAS, T4 a obtenu la note de recouvrement la plus faible, qui n'est cependant pas statistiquement différente de celles obtenues par T3 et T6 et à 80 JAS, ce sont T3, T4 et T6 qui ont obtenu les notes de recouvrement les plus faibles. Aussi, à 45 JAS, T4 a obtenu la densité d'adventices la plus faible qui cependant n'a pas été significativement différente de la densité d'adventices obtenue avec T3 et à 80 JAS, ce sont T4 et T7 qui ont obtenu les densités d'adventices les plus faibles. Enfin, T4 a obtenu la biomasse sèche la plus faible qui cependant n'est pas différente ni de celle obtenue par T1 ni de celles obtenues par T2, T3, T5 et à 80 JAS, ce sont T3 et T4 qui ont obtenu les biomasses sèches les plus faibles (Tableau 2).

**4.1.3 Efficacité du Contrôle des Adventices (ECA) :** À 45 et 80 JAS, T1 a permis d'obtenir l'efficacité maximale (100%) tandis que T0, l'efficacité minimale (0%). Les autres traitements ont permis d'obtenir des efficacités intermédiaires. En dehors des traitements témoins, T4 a permis d'obtenir la meilleure efficacité à 96% à 45 JAS et à 94% à 80 JAS. Il est suivi de T3 puis de T5 (Figure 1).

### 4.1.4 Effets des traitements sur le développement et la croissance du riz :

Aucun effet traitement n'a été observé sur la durée semis-levée. T4 a permis le tallage le plus précoce (36,17 jours). Il diffère de T0 qui a permis le tallage le plus tardif (40 jours). Les autres traitements ont permis des durées semis-tallages intermédiaires qui cependant ne sont pas différentes ni de celle de T4 ni de celle de T0. T1 a permis d'obtenir l'épiaison la plus précoce (72 jours). Il diffère de T0 qui a permis l'obtention l'épiaison la plus tardive (74,50 jours). Parmi les traitements intermédiaires, T4, T5, T6 et T7 n'ont pas été différents de T1. T1 et T4 ont permis d'obtenir les durées de floraison les plus précoces (83,92 jours) qui ne diffèrent pas de celles obtenues avec les traitements T6 et T7 (85 jours). T1 a permis d'obtenir la maturité la plus précoce (112,50 jours) qui diffère de celles obtenues avec T0 et T3 mais ne diffère pas de celles obtenues avec T2, T4, T5, T6 et T7 (Tableau 3). A 45 JAS, T1, T3, T4, T5, T6 et T7 ont permis d'obtenir les plants les plus hauts (69,31cm). Ils diffèrent de T2 et de T0 qui ont permis d'obtenir les plants les plus petits (58,46 cm). A 80 JAS, T1 et T7 ont permis d'obtenir les plants les plus hauts (87,54cm). Ils sont différents de T0 qui a permis d'obtenir les plants les plus petits (70,89cm). Parmi les traitements intermédiaires, T4 et T6 ont permis d'obtenir des plants de hauteurs similaires à celles obtenues avec T1 et T7. A 45 JAS, en dehors de T0 qui a permis d'obtenir la plus faible valeurs d'Indice de surface foliaire (0,70), les autres traitements ont permis d'obtenir des lai dont les valeurs varient de 0,92 à 1. A 80 JAS, en dehors de T0 et T2, qui ont permis d'obtenir les valeurs de lai les plus faibles, T1, T3, T4, T5, T6 et T7 ont permis d'obtenir des lai qui varient de 1,11 à 1,30. A 45 JAS, T7 a permis d'obtenir les biomasses aériennes sèches les plus élevées (300,62 kg/ha). Il diffère des autres traitements, et notamment de T0 qui a permis d'obtenir la biomasse aérienne sèche la plus faible (60,65 kg/ha). A 80 JAS, T4 a permis d'obtenir la biomasse aérienne sèche la plus élevée (Tableau 4).



**4.1.5 Effets des traitements sur le rendement paille, le rendement grains et ses composantes :** T1 a permis d'obtenir les valeurs les plus élevées du rendement paille (1584,75 kg/ha) et du rendement grains (779,27 kg/ha). Ces valeurs diffèrent de celles, plus faibles, obtenues par T0. Parmi les rendements intermédiaires, T4 a permis d'obtenir les rendements paille (1203,91 kg/ha) et grains (589,34kg/ha) les plus élevés qui cependant ne diffèrent pas de ceux obtenus par T3 et T6. T4 a permis d'obtenir le nombre de talles le plus élevé (237,83 talles/m<sup>2</sup>) qui diffère du nombre de talles obtenu avec les autres traitements. T1 a permis d'obtenir le taux de talles fertiles le plus élevé (64,19%) et s'est démarqué de T4, T6 et T7 qui ont permis d'obtenir les taux de talles fertiles les plus faibles. Les taux de talles intermédiaires ont été obtenus avec les traitements T0, T2, T3 et T5 qui cependant ne diffèrent pas de celui de T1. T4 a obtenu le nombre de panicules le plus élevé (123,51 panicules/m<sup>2</sup>) qui diffère de T0 qui a permis d'obtenir le nombre de panicules le plus faible (68,33 panicules/m<sup>2</sup>). Parmi les traitements intermédiaires, T1 et T3 n'ont pas été

différents de T4. T6 a permis d'obtenir le nombre d'épillets le plus élevé (109 épillets/panicule) qui diffère de T0 qui a permis d'obtenir le nombre d'épillets le plus faible (57,33 épillets/panicule). Parmi les traitements intermédiaires T1, T3, T4 et T5 ne se sont pas distingués de T6. T1 a permis d'obtenir le taux de stérilité le plus faible (50,04%) qui cependant n'est pas différents des taux de stérilités obtenus par T2, T3, T4, T5, T6 et de T7. T1 et T6 ont permis d'obtenir les Poids de Mille Grains (PMG) les plus élevés (20,48g). Ils diffèrent de T0 et de T2 qui ont permis d'obtenir les PMG les plus faibles (14,27g). Parmi les traitements intermédiaires, le traitement T4 ne s'est pas différencié des traitements T1 et T6 (Tableau 5).

**4.1.5 Perte Relative de Rendement (PRR) :** T1 permet d'obtenir la plus faible valeur du PRR (0%) tandis que T0 permet d'obtenir la valeur la plus élevée (91%). Les autres traitements ont permis d'obtenir des PRR oscillant entre 24 et 57%. En dehors des traitements témoins, la PRR la plus faible a été obtenue avec le traitement T4 (24%) qui est suivi du traitement T6 puis du traitement T3 (Figure 2).



Tableau 1 : Composition de la flore adventice naturelle avec les notes moyennes de recouvrement des grands groupes d'adventices (moyennes sur les 2 années)

Groupe	Nom scientifique	Famille	Recouvrement (%)
Poaceae	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Poaceae	55
	<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze	Poaceae	
	<i>Brachiaria lata</i> (Schumach.) C.E.Hubb.	Poaceae	
	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	Poaceae	
	<i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde.	Poaceae	
	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeuschel	Poaceae	
	<i>Brachiaria deflexa</i> (Schum.) C.E.Hubb.	Poaceae	
	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Poaceae	
	<i>Setaria pallide-fusca</i> (Schumach.)	Poaceae	
	<i>Sporobolus pyramidalis</i> Beauv.	Poaceae	
	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (Lam.) Hitchc. & Ch	Poaceae	
	<i>Paspalum orbiculare</i> G.Forst.	Poaceae	
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Poaceae	
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	Poaceae	
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	Poaceae	
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	Poaceae	
<i>Leptochloa caerulea</i> Steud	Poaceae		
<i>Digitaria delicatula</i> Stapf	Poaceae		
Groupe	Nom scientifique	Famille	Recouvrement (%)
Adventices à feuilles larges	<i>Croton hirtus</i> L'Hér	Euphorbiaceae	44
	<i>Tridax procumbens</i> L.	Asteraceae	
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	
	<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	Asteraceae	
	<i>Corchorus tridens</i> L.	Tiliaceae	
	<i>Centrosema pubescens</i> Benth	Fabaceae	
	<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Desv.	Fabaceae	
	<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	Fabaceae	
	<i>Ipomoea eriocarpa</i> R.Br.	Convolvulaceae	
	<i>Spigelia anthelmia</i> L.	Loganiaceae	
	<i>Celosia trigyna</i> L.	Amaranthaceae	
	<i>Indigofera hirsuta</i> L.	Fabaceae	
	<i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Royle,	Euphorbiaceae	
	<i>Passiflora foetida</i> L.	Passifloraceae	
	<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Commelinaceae	
	<i>Sida urens</i> L.	Malvaceae	
	<i>Talinum triangulare</i> (Jacq.) Willd.	Portulacaceae	
	<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	
	<i>Boerhaavia diffusa</i> L.	Nyctaginaceae	
	<i>Sida stipulosa</i> L.	Malvaceae	
	<i>Cassia hirsuta</i> L.	Caesalpinaceae	
	<i>Mitracarpus scaber</i> Zucc	Rubiaceae	
	<i>Cassia absus</i> L.	Caesalpinaceae	
	<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	Molluginaceae	
	<i>Ipomoea cairica</i> (L.) Sweet	Convolvulaceae	
	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae	
	<i>Croton lobatus</i> L.	Euphorbiaceae	
	<i>Boerhaavia erecta</i> L.	Nyctaginaceae	
	<i>Gomphrena celosioides</i> Mart.	Amaranthaceae	
	<i>Margaritaria discordea</i> (Baill.) G.L. Webster	Euphorbiaceae	
	<i>Cassia mimosoides</i> L.	Caesalpinaceae	
	<i>Boerhaavia erecta</i> L.	Nyctaginaceae	
	<i>Corchorus olitorius</i> L.	Malvaceae	
	<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	
	<i>Combretum paniculatum</i> Vent.	Combretaceae	
	<i>Cleome viscosa</i> L.	Cleomaceae	
	<i>Sterculia tragacantha</i> Lindl.	Sterculiaceae	
	<i>Ficus exasperata</i> Vahl.	Moraceae	
	<i>Millettia zehiana</i> Harms	Fabaceae	
	<i>Ptilostigma thonningi</i> (Schumach.)	Caesalpinaceae	
	<i>Physalis micrantha</i> Link	Solanaceae	
	<i>Solanum erianthum</i> D.Don.	Solanaceae	
	<i>Desmodium asperum</i> (Poir.) Desv.	Fabaceae	
	<i>Sida acuta</i> Burm.f.	Malvaceae	
	<i>Indigofera geminata</i> Baker.	Fabaceae	
	<i>Physalis micrantha</i> Link.	Solanaceae	
	<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	Phyllanthaceae	
<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	Rubiaceae		
<i>Aeschynomene americana</i> L.	Fabaceae		
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	Euphorbiaceae		
Groupe	Nom scientifique	Famille	Recouvrement (%)
Cyperaceae	<i>Cyperus sphaerolatus</i> Rottb.	Cyperaceae	1
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	
	<i>Mariscus alternifolius</i> Vahl	Cyperaceae	
	<i>Mariscus cylindristachyus</i> Steudel.	Cyperaceae	
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	
	<i>Mariscus alternifolius</i> Vahl	Cyperaceae	
<i>Mariscus cylindristachyus</i> Steud	Cyperaceae		



**Tableau 2 :** Valeurs moyennes des paramètres note de recouvrement, densité et biomasse d’adventices à 45 et 80 JAS sous l’effet des méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz NERICA 1 (moyennes sur les deux années)

Traitements	Note de recouvrement		Densité des adventices		Biomasse des adventices (g m <sup>-2</sup> )	
	45 JAS	80 JAS	45 JAS	80 JAS	45 JAS	80 JAS
T0	8.50 d	8.50e	275.86 e	367.65 g	261.23 e	403.57e
T1	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
T2	7.77 c	5.50 d	28.70 c	91.47 e	10.57 h	78.73 d
T3	2.30 bc	3.03 b	24.91 bc	42.62 e	16.67 b	31.09 b
T4	1.28 b	3.00 b	17.98 b	38.62 b	10.25 ab	18.89 b
T5	2.76 c	4.17 bc	28.33 c	56.13 d	20.09 bc	41.54 c
T6	2.34 bc	3.92 b	45.90 d	56.97 d	37.17 d	45.90 d
T7	2.74 c	5.25 cd	43.56 d	98.04 b	31.86 cd	84.99 d



**Tableau 3** : Valeurs moyennes de la durée des différents stades phénologiques sous l'effet des méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz NERICA 1 (moyennes sur les deux années)

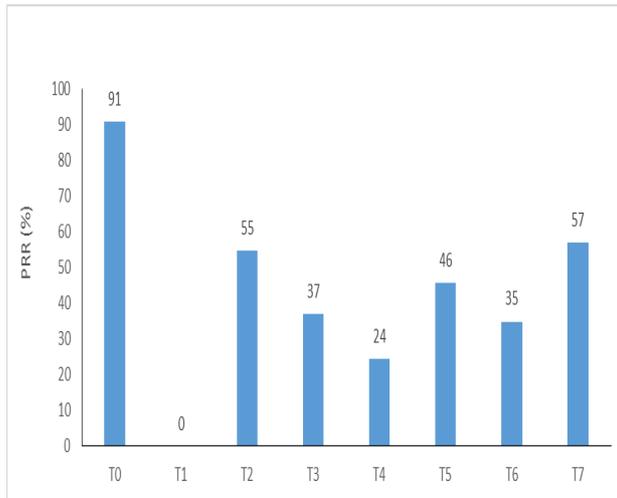
Traitement	Hauteur du riz (cm)		Indice de Surface Foliaire (LAI)		Biomasse aérienne sèche du riz (kg ha)	
	J5.745	80.745	J5.745	80.745	J5.745	80.745
T0	58.46 a	70.59 a	0.70 a	0.98 a	60.65 a	130.08 a
T1	70.16 c	87.54 d	0.92 b	1.30 ab	204.01 d	342.89 d
T2	62.76 b	81.00 bc	0.93 b	1.03 a	131.43 b	371.76 b
T3	69.32 c	84.44 bcd	0.92 b	1.15 ab	140.38 b	449.84 c
T4	68.12 c	85.39 cd	0.92 b	1.30 ab	169.65 c	586.12 e
T5	70.06 c	84.00 bcd	0.94 b	1.11 ab	167.94 c	384.12 b
T6	69.75 c	85.28 cd	0.96 b	1.25 ab	242.42 e	469.52 c
T7	68.11 c	87.51 d	1.00 b	1.11 ab	300.67 f	412.87 c

**Tableau 4** : Valeurs moyennes des paramètres Hauteur du riz, Indice de surface foliaire (LAI), Biomasse aériennes sèche du riz à 45 et 80 JAS sous l'effet des méthodes de lutte contre les adventices en culture du riz NERICA 1 (moyennes sur les deux années)

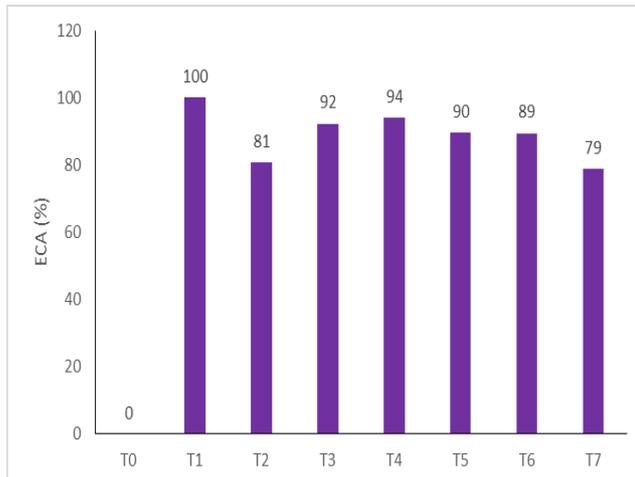
Traitement	Hauteur du riz (cm)		Indice de Surface Foliaire (LAI)		Biomasse aériennes sèche du riz (kg ha)	
	45 JAS	80 JAS	45 JAS	80 JAS	45 JAS	80 JAS
T0	58.46 a	70.89 a	0.71 a	0.98 a	60.65 a	120.08 a
T1	70.16 c	87.84 d	0.92 b	1.30 ab	204.01 d	542.89 d
T2	82.70 b	81.00 bc	0.94 b	1.04 a	181.47 b	471.70 b
T3	69.32 c	84.44 bcd	0.92 b	1.16 ab	140.38 b	449.84 c
T4	68.13 c	85.39 cd	0.92 b	1.30 ab	169.65 c	586.13 e
T5	70.85 c	84.00 bcd	0.94 b	1.11 ab	167.94 c	384.13 b
T6	69.75 c	85.28 cd	0.94 b	1.28 ab	242.41 e	469.52 c
T7	68.44 c	87.54 d	1.00 b	1.14 ab	300.62 f	442.92 c

**Tableau 5** : Valeurs moyennes des composantes du rendement, du rendement en grains et de la biomasse sèche à maturité du NERICA 1 sous l'effet des méthodes de lutte contre les adventices (moyennes sur les deux années)

Traitement	Nombre de talles/m <sup>2</sup>	Taux de talles fertiles (%)	Nombre de panicules/m <sup>2</sup>	Nombre d'épillets/panicule.	Taux de stérilité (%)	Poids de mille grains (g)	Rendement en grains (Kg/ha)	Biomasse aérienne sèche du riz (kg/ha)
T0	79.67 a	58.34 ab	68.33 a	57.33 a	59.65 b	14.07 a	72.80 a	171.79 a
T1	178.17 c	64.19 b	114.42 bc	100.17 cd	50.04 a	20.50 d	779.27 e	1584.75 e
T2	141.67 b	58.98 ab	90.87 abc	98.17 c	57.20 ab	14.47 a	352.98 b	732.17 b
T3	172.00 c	55.74 ab	102.75 bc	105.67 cd	52.65 ab	18.35 b	490.65 cd	1007.50 cd
T4	237.83 e	49.56 a	123.51 c	103.50 cd	55.43 ab	20.09 cd	589.34 d	1203.91 d
T5	170.83 c	51.38 ab	93.96 abc	106.67 cd	55.03 ab	18.75 bc	423.89 bc	874.31 bc
T6	208.33 d	46.56 a	101.67 bc	109.00 d	55.20 ab	20.45 d	508.17 cd	1042.55 cd
T7	166.17 c	50.00 a	90.69 ab	84.33 b	54.12 ab	17.70 b	336.49 b	699.18 b



**Figure 1 :** Efficacités du Contrôle des Adventices (ECA) suivant les traitements à 80 JAS.



**Figure 2 :** Perte Relative de Rendement (PRR) suivant les traitements.

## 5 DISCUSSION

Sur les deux années, les essais ont été menés sur la même période c'est-à-dire durant la seconde moitié de la saison des pluies. Les températures enregistrées ont eu des évolutions identiques et sont proches de celles qui sont nécessaires à une croissance et un développement optimal du plant de riz (FAO, 2003). Les séquences sèches enregistrées ainsi que les déficits hydriques au cours et en fin de cycles confirment la variabilité climatique à laquelle est confrontée toute la zone et mise en évidence par plusieurs études dont celle de Diomandé *et al.*, (2009) dans le V-Baoulé. Si les températures ont été favorables à la croissance du riz, cela n'a pas été le cas pour la pluviométrie qui est resté en deçà des exigences

de la culture estimées à 450 mm pour le riz de cycle court (Angladette, 1966). Malgré l'efficacité des méthodes de lutte intégrée, le déficit hydrique est resté le facteur limitant pour les rendements (FAO, 1997). La flore adventice naturelle était composée de 73 espèces issues de 22 familles. La liste des espèces reste conforme à celles des nombreux travaux réalisés en Côte d'Ivoire sur la flore adventice du riz pluvial, notamment ceux de Merlier en 1974 et en 1982. Les plus représentatives étaient les Poacées (55%), suivies des Adventices à feuilles larges (44%), et des Cypéracées (1 %). Ce résultat rejoint les travaux de Moody et Drost (1983) qui mentionnent la dominance des Poacées sur les Adventices à



feuilles larges en riziculture pluviale. Concernant la réduction des paramètres de croissance des adventices, comparativement au témoin T0, tous les traitements ont permis de réduire significativement ces paramètres. Ce qui s'est traduit par des Efficacités de Contrôle des Adventices (ECA) supérieures à 80%. Ce résultat est similaire à celui de Anwar (2012) qui a montré que des méthodes de lutte intégrée impliquant des herbicides et des désherbages manuels ont permis d'obtenir des ECA de plus de 80%. T4 est la méthode de lutte intégrée qui a permis d'obtenir les meilleures réductions des paramètres de croissances des adventices. Il est suivi de T3 et de T5. Cela s'est traduit par de fortes valeurs d'ECA obtenues par ces traitements qui sont de 94% pour T4, 92% pour T3 et 90% pour T5. Ces résultats sont similaires à ceux de Sunil *et al.*, (2010) qui ont montré que des valeurs élevées d'ECA ont été obtenues en riziculture pluviale par un traitement d'herbicide pré-émergent suivi d'un sarclage manuel à 40JAS. Aussi, Suria *et al.*, (2011) ont montré que l'utilisation, en riziculture pluvial, d'herbicide post-émergence suivi d'un sarclage manuel à 43 JAS a permis d'obtenir également de bons résultats. Concernant la phénologie, les durées semis-levée et semis-tallage n'ont pas permis de discriminer les traitements. Il semble qu'à ces stades, les effets des traitements n'ont pas été perceptibles. La ségrégation entre les traitements s'est faite aux stades épiaisons, floraison et maturité. Cependant, en dehors des traitements témoins les méthodes de lutte intégrée prises entre elles n'ont pas été différentes à l'épiaison. A la floraison, T4 s'est détaché du lot avec une floraison plus précoce et à la maturité, c'est T3

## 6 CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets de huit (08) méthodes de lutte intégrée contre les adventices sur les performances du riz pluvial en zone pré-forestière ivoirienne. Elle a révélé que la flore adventice naturelle est composée de Paocées (55%), suivi des Adventices à feuilles larges (44%), puis des Cyperacées (1%). Le traitement T4, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage + paillage :

qui s'est distingué par une maturité plus tardive. Concernant les paramètres de croissance du NÉRICA 1, comparativement à la parcelle enherbée du semis à la récolte, tous les autres traitements ont permis d'accroître significativement les paramètres de croissance de riz. Parmi les méthodes de lutte intégrée, T4 est la méthode de lutte qui a permis d'obtenir les meilleurs paramètres de croissance. Il est suivi de T6 puis de T3. T4 a également permis d'obtenir le meilleur rendement (589,34 kg/ha) avec le nombre de talles (237,83 talles/m<sup>2</sup>) et de panicules (123,51 panicules/m<sup>2</sup>) les plus élevés et un poids de mille grains élevé (20,09 g). Il est également suivi de T6 puis de T3. Ces résultats sont conformes à ceux de Sunil *et al.*, (2010) qui ont montré que les méthodes de lutte intégrée permettaient d'accroître le rendement grains du riz pluvial et ses composantes. Ils sont confirmés par les travaux de Sylla *et al.*, (2017) qui ont conclu que l'usage en prélevé du pendiméthaline 500 g/l à 5l/ha suivi d'un désherbage manuel à 30 JAR a permis d'obtenir les meilleurs rendements. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que ces traitements, couvrent la période critique de contrôle des adventices et réduisent les adventices donc la compétition du riz pour les ressources en eau et en éléments nutritifs. Cela se traduit également par des Pertes Relatives de Rendement (PRR) inférieures à 40%. Elle est de 24% pour T4, de 35% pour T6 et de 37% pour T3. Ce résultat rejoint les travaux de Blackshaw *et al.*, (2005) qui ont mis en évidence que le choix de semence de bonne qualité et d'une bonne date de semis, couplés à un usage d'herbicides permettait d'obtenir de bons rendements.

1JAS+21 JAS +21 JAS, suivi de T3, Herbicide de pré-émergence (400 g/l d' Oxadiargyl à 8l/ha) + sarclage : 1 JAS + 21 JAS, ont permis une meilleure maîtrise des adventices, tandis que T4, suivi de T6, Herbicide de post-émergence (360g/l de Propanil + 72g/l de Triclopyr à 4l/ha) + sarclage + paillage : 14JAS+ 30JAS+30JAS puis de T3, ont permis d'obtenir les meilleurs rendements, respectivement de 589,34 kg/ha ;



508,17 kg/ha et 490,65 kg/ha. Pour un contrôle plus efficace des adventices, l'application en prélevée d'Oxadiargyl à 400g/l suivi à 21JAS d'un sarclage manuel puis d'un paillage à 3t/ha peut être recommandée. Aussi, vu de l'impact du déficit hydrique sur les rendements obtenus et les

coûts des différents désherbages, l'évaluation, en conditions de pluviométrie plus favorable, des méthodes de lutte intégrée contre les adventices ainsi que l'étude de leur rentabilité économique devraient être envisagées.

## 7 REFERENCES

- ADRAO, 2008. Guide pratique de la culture des NERICA de plateau. Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). Cotonou, Bénin. 36 p.
- Akobundu I.O. and Agyakwa C.W., 1989. Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest. Institut international d'agriculture tropicale. Ibadan, Nigeria, 521p.
- Anwar M. P., Juraimi A. S., Samedani B., Puteh A., and Man A., 2012. Critical period of weed control in aerobic rice. *The Scientific World Journal*, vol. 2012, Article ID 603043, 10 p.
- APRAO, 2013. Projet «Amélioration de la production de riz en Afrique de l'Ouest en réponse à la flambée des prix des denrées alimentaires» composante Côte d'Ivoire (GCP/RAF/453/SPA). Rapport final. 18 p.
- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. *Rapport d'Expertise scientifique collective*. INRA et Cemagref. France. 64 p.
- Blackshaw R. E., Moyer J. R., Harker K. N. and Clayton G. W., 2005. Integration of agronomic practices and herbicides for sustainable weed management in a zero-till barley field pea rotation. *Weed Technology* **19** (1) : 190–196.
- Diomandé M., Dongo K., Koné B., Cissé G., Biémi J. et Bonfoh B., 2008. Vulnérabilité de l'agriculture pluviale au changement de régime pluviométrique et adaptation des communautés rurales du « V-Baoulé » en Côte d'Ivoire. Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire. Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université de Cocody-Abidjan. 11 p.
- Hasanuzzaman M., Islam M. O., and Bapari M. S., 2008. Efficacy of different herbicides over manual weeding in controlling weeds in transplanted rice. *Australian Journal of Crop Science* **2** (1): 18-24.
- Jaya Suria A. S. M., Juraimi A. S., Rahman M. M., Man A. B., and Selamat A., 2011. Efficacy and economics of different herbicides in aerobic rice system. *African Journal of Biotechnology* **10** (41) : 8007–8022.
- Johnson D. E., 1997. Les adventices en riziculture en Afrique de l'ouest. ADRAO. Bouaké. Côte d'Ivoire. 311 p.
- Le Bourgeois T. and Merlier H., 1995. Adventrop. Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne. CIRAD, Montpellier, France. 640 p.
- Lerat S., Angladette A., 1968. Le riz. Techniques agricoles et productions tropicales. In: *Cahiers d'outre-mer*. N° 82 - 21e année, Avril-juin 1968. p. 219
- Merlier H., 1974. Végétation adventice des rizières pluviales de Côte d'Ivoire. *Communication* présentée au deuxième symposium sur le désherbage des cultures tropicales COLUMA (Comité français de lutte contre les mauvaises herbes). Montpellier 5-6 septembre 1974, 127-140
- Merlier H. et Montegut J., 1982. Adventices tropicales. Flore aux stades plantules et adultes de 123 Espèces africaines ou pantropicales. Groupe de travail « Désherbage des cultures tropicales » du GERDAT COLUMA. 486 P.



- Merlier H., 1982. La lutte contre les mauvaises herbes en riziculture pluviale en Côte d'Ivoire. *Agronomie Tropicale* **37** (4) : 408-410
- MINESUDD, 2014. L'agriculture Intelligente face au Climat en Côte d'Ivoire: état des lieux et besoins d'appui pour mieux intégrer l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC). Communication pays.
- Mishra, J.S. and Singh V.P., 2007. Integrated weed management in zero till direct seeded rice (*Oryza sativa* L)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Indian J. Agron.* **52** (3):198-203
- Moody K. and Drost D. C., 1983. The role of cropping systems on weed in rice in *Weed Control in Rice*, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. pp. 74–88
- Sylla M., Traoré K., Soro D. et Yodé T.E.G., 2017. Évaluation des pratiques de gestion des adventices en riziculture irriguée dans la localité de Daloa, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* **29** (1) :49-64.
- Tukey J., 1949. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics* **5** (2): 99–114.