



**USAID**  
FROM THE AMERICAN PEOPLE

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU SAHEL :

# UNE APPROCHE DE DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE

JUILLET 2014

La rédaction du présent rapport a été rendue possible grâce au soutien du peuple américain par le biais de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID). Son contenu relève de la seule responsabilité de Tetra Tech ARD et ne représente pas nécessairement les points de vue de l'USAID ou du gouvernement américain.

ARCC



African and Latin American  
Resilience to Climate Change Project

Le présent rapport a été élaboré dans le cadre d'un contrat de sous-traitance avec la Michigan State University, Département de l'agriculture, l'alimentation et de l'économie des ressources, par Brent M. Simpson, par le biais d'un contrat de sous-traitance avec Tetra Tech ARD.

La présente publication a été réalisée pour l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID) par Tetra Tech ARD dans le cadre du Contrat à Quantité Indéterminée Prospérité, Moyens de subsistance et Conservation des écosystèmes [Prosperity, Livelihoods, and Conserving Ecosystems (PLACE)], contrat USAID No. AID-EPP-I-00-06-00008, ordre de service No. AID-OAA-TO-11-00064).

**Contacts Tech ARD :**

**Patricia Caffrey**

Chef de mission

Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique(ARCC)

Burlington, Vermont

Tél. : 802-658-3890

Patricia.Caffrey@tetratech.com

**Anna Farmer**

Chef de projet

Burlington, Vermont

Tél. : 802-658-3890

Anna.Farmer@tetratech.com

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT  
CLIMATIQUE AU SAHEL :

# UNE APPROCHE DE DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE

RESILIENCE AFRICAINE ET LATINO-AMERICAINE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE  
(ARCC)

JUILLET 2014

# TABLE DES MATIERES

<b>ACRONYMES ET ABREVIATIONS</b> .....	<b>iii</b>
<b>A PROPOS DE CETTE SERIE</b> .....	<b>iv</b>
<b>RAPPORT SOMMAIRE</b> .....	<b>vi</b>
<b>1.0 ELEMENTS FONDEMENTAUX DE L'APPROCHE</b> .....	<b>1</b>
1.1 L'IMPORTANCE DE LA VARIATION INTRA-ANNUELLE.....	1
1.2 SELECTION DU CALENDRIER.....	3
1.3 SELECTION DE L'APPROCHE DE PREVISIONS CLIMATIQUES.....	4
1.4 SELECTION DE L'APPROCHE ANALYTIQUE : MODELISATION OU DIAGNOSTIC DES CULTURES.....	4
<b>2.0 ASPECTS TECHNIQUES DU DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE</b> .....	<b>7</b>
2.1 IDENTIFICATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DES CULTURES.....	7
2.2 DETERMINATION DES PROFILS DES CULTURES.....	8
2.3 DEFINIR LES PARAMETRES CLIMATIQUES .....	11
2.4 CARACTERISATION DES TENDANCES CLIMATIQUES.....	13
2.5 CONDUITE DU DEPISTAGE .....	15
2.6 EMPLOI DE L'ANALYSE DU DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE.....	18
<b>3.0 SOURCES</b> .....	<b>20</b>

# ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ARCC	Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique
CC	Changement climatique
CIAT	Centre international d'agriculture tropicale
CILSS	Comité inter-états pour la lutte contre la sécheresse au Sahel
CMIP5	Projet de comparaison de modèles couplés phase 5
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)
GIEWS	Système mondial d'information et d'alerte rapide de la FAO
MCG	Modèle de circulation générale
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental pour l'évolution du climat
NCDC	Centre national de données climatologiques
SRCVO	Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineuses
SREX	Rapport Spécial sur les climats extrêmes du GIEC
USAID	Agence des Etats-Unis pour le développement international

# A PROPOS DE CETTE SERIE

## **A PROPOS DES ETUDES SUR LA VULNERABILITE ET LADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST**

Le présent document fait partie d'une série d'études produites par la Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC) qui aborde l'adaptation aux changements climatiques en Afrique de l'Ouest. Dans le cadre des études de l'ARCC sur l'Afrique de l'Ouest, ce document fait partie des sous-séries de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique au Sahel. L'ARCC a également développé des sous-séries sur le changement climatique et les ressources en eau en Afrique de l'Ouest, le changement climatique et les conflits en l'Afrique de l'Ouest et le changement climatique au Mali.

## **SOUS-SERIES SUR L'ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU SAHEL :**

Suite à la demande de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID), l'ARCC a entrepris une série d'études sur le Sahel, en vue d'améliorer la compréhension d'éventuels impacts du changement climatique sur la productivité agricole au Sahel et d'identifier des moyens permettant de soutenir l'adaptation à ces impacts. D'autres documents d'adaptation de l'agriculture au changement climatique de la série du Sahel incluent : Une approche d'évaluation de la performance des pratiques agricoles, Profils des pratiques de gestion agricole, Profils agronomiques de quinze cultures dominantes au Sahel, Les impacts prévus sur les insectes et maladies affligeant les cultures sélectionnées, et Les effets prévus sur les insectes et maladies attaquant le bétail. Deux documents établis dans le cadre des sous-séries du changement climatique au Mali, se rattachent aussi à cette étude : *Organizational Survey and Focus Groups of Adaptive Practices* et *Impact Modeling of Selected Agricultural Adaptive Practices*.

## **UNE APPROCHE DE DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE**

L'ARCC a réalisé une approche de diagnostic phénologique en réponse à la demande de l'USAID de développer et décrire une méthode d'utilisation du diagnostic phénologique, afin de mieux comprendre comment les changements des précipitations et de température pourraient altérer la productivité des cultures au Sahel, et d'étudier l'hypothèse selon laquelle l'atteinte des seuils spécifiques aurait comme conséquence des modifications importantes sur la productivité.

La mise en place de l'approche décrite dans cet article, dépend de la disponibilité d'une quantité considérable de données propres au site à travers plusieurs domaines, tels que les caractéristiques du sol, les variétés de cultures, et les climats actuels et prévus. Les contraintes de temps et de ressources ont empêché l'ARCC de mettre en œuvre cette approche de diagnostic dans tout le Sahel. Cependant, ce rapport constitue un guide auprès d'institutions dotées de ressources permettant d'entreprendre une telle étude, ainsi que des éléments permettant la poursuite des activités de l'ARCC, décrites ci-dessous.

Par ailleurs, l'USAID a invité l'ARCC à développer un document complémentaire afin d'élaborer une approche permettant d'améliorer la compréhension de l'efficacité des mesures adaptatives, actuellement utilisées par les producteurs ruraux du Sahel, tout comme la manière dont celle-ci peut être modifiée par le changement climatique. Ce document intitulé, Une approche d'évaluation de la performance des pratiques agricoles, s'appuie sur le présent document. Il propose trois éléments essentiels pour une

évaluation des pratiques adaptatives : définir les changements prévus du climat, identifier les pratiques à évaluer, définir des objectifs d'adaptation et mener l'évaluation des pratiques définies. Des études supplémentaires de l'ARCC sur l'Afrique de l'Ouest complètent les éléments des approches décrites dans ces deux documents, les plus importantes étant : Profils agronomiques de quinze cultures dominantes au Sahel, Profils des pratiques de gestion agricole, *Organizational Survey and Focus Groups of Adaptive Practices* et *Impact Modeling of Selected Agricultural Adaptive Practices*

# RAPPORT SOMMAIRE

Le présent document a été rédigé en réponse à la demande de l'USAID, en vue de développer des options de conduite du diagnostic phénologique de l'impact de l'évaluation climatique sur les principales cultures développées au Sahel. L'activité a été mise en place dans le cadre du projet de Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC) de l'USAID. Bien que les ressources du projet de l'ARCC n'aient pas permis l'application du processus décrit ci-dessous, ce document sert à fournir des conseils aux futurs chercheurs sur les étapes, les ressources nécessaires et les défis liés à un tel dépistage.

Plus précisément, le présent document présente une approche d'évaluation des réponses des cultures face aux tendances de l'évolution des phénomènes météorologiques intrasaisonniers. En tant que tel, il diffère de l'approche plus commune d'évaluation des impacts résultant des variations interannuelles de précipitations. La compréhension actuelle du changement climatique, soutient l'argument selon lequel une modification d'orientation visant à mettre l'accent sur la survenue intrasaisonnaire d'événements météorologiques extrêmes est complexe et qu'une analyse continue fondée sur des moyennes interannuelles de précipitations, correspondra de moins en moins aux réalités des effets de répartition intrasaisonniers, auxquels les agriculteurs doivent faire face. L'évaluation des impacts des tendances intrasaisonniers commencera peine à être explorée. Cette évaluation représente le secteur doté du plus grand potentiel de nouvelles contributions provenant de futurs travaux analytiques.

Contrairement aux approches de modélisation des cultures qui se concentrent sur les rendements, la démarche proposée produit des résultats décrivant la proximité des limites adaptatives. Le document indique que cette approche est particulièrement utile dans les environnements tels que le Sahel, où les climats extrêmes sont la norme et la plupart des cultures sont proches de la partie supérieure de leur variété adaptative. Les procédures de diagnostic phénologique décrites offrent une meilleure approche permettant de prévoir les impacts du changement climatique (CC) sur l'agriculture pluviale au Sahel à court terme (dans les 10 prochaines années).

Le processus comprend le développement d'un profil phénotypique pour chaque culture, incorporant les normes de réaction aux paramètres climatiques, la définition du terme "années de pluie" pour chaque culture à l'étude et la question des données climatiques par rapport à la survenue, la synchronisation, et l'amplitude des événements franchissant les seuils définis par les profils. Par ce processus, nous prenons conscience des changements de la fréquence des événements météorologiques, agronomiquement importants et ce qui est susceptible de se produire par rapport au rapprochement entre ces événements et les seuils de cultures au cours de la prochaine décennie.<sup>1</sup>

La connaissance de la distance par rapport à ces seuils serait constitué un précieux atout pour aider les programmes d'assistance aux fins d'investissements éclairés dans les initiatives d'adaptation au CC à court terme. En fonction du facteur dominant (les températures contre les précipitations, contre les événements extrêmes), et de la culture en question, différents mécanismes de réponse peuvent être appropriés. Les résultats du diagnostic phénologique peuvent sensibiliser les décideurs politiques, quant à une perte éventuelle (ou un gain) de revenus dérivés des principales cultures commerciales du fait des

---

<sup>1</sup> La première de ces trois étapes, le développement des profils phénologiques, a été conduite en même temps que cet article, et des résultats sont présentés dans le document annexe à ces sous-séries, Profils agronomiques de quinze cultures dominantes au Sahel.

CC. Les résultats peuvent également signaler la nécessité de commencer à investir dans la recherche à long terme en vue de développer de nouvelles variétés tolérantes dans l'optique d'anticiper les conditions futures prévues, de manière à ce qu'il y ait des options techniques appropriées disponibles dans 10 à 20 ans, lorsque ces conditions se matérialiseront.

L'approche proposée est conçue en tant qu'outil d'aide à la prise de décisions d'investissement spécifiques par pays et par sous-région, concernant les adaptations nécessaires au CC, en mettant l'accent sur les particularités climatiques passées et actuelles importantes pour l'agriculture, l'évolution de celles-ci et les nouvelles mesures d'adaptation qui seront exigées à l'avenir. En se concentrant sur les effets intrasaisonniers du CC, l'approche distingue des degrés différents d'attention aux caractéristiques climatiques correspondant aux principaux défis de gestion des agriculteurs. En plus de signaler quelles cultures (à des endroits spécifiques) sont exposées au risque d'excéder leurs seuils physiologiques, le diagnostic met en avant de nouveaux renseignements, certains "contre-intuitifs", telle que l'éventuelle augmentation des événements extrêmes de précipitations dans des conditions de sécheresse, exigeant de nouvelles considérations de conception en technologie de conservation d'hygrométrie, qui seront difficiles à incorporer dans la conception des futurs efforts de réaction.

Le document complémentaire, Une approche d'évaluation de la performance des pratiques agricoles, présente une démarche semblable et complémentaire, décrivant les étapes de l'évaluation des impacts du changement climatique sur les pratiques agricoles dans les exploitations.

# I.0 ELEMENTS FONDEMENTAUX DE L'APPROCHE

## I.1 L'IMPORTANCE DE LA VARIATION INTRA-ANNUELLE

Au Sahel, l'adaptation aux variations climatiques au cours d'une saison, plus précisément la synchronisation des précipitations, constitue un défi de principe de gestion pour les agriculteurs, d'où la décision difficile dans la conception de diagnostic phénologique de centrer l'analyse sur les tendances annuelles ou d'inclure une recherche sur les changements prévus par rapport aux phénomènes climatiques intrasaisonniers. Considérons les deux exemples de future répartition de précipitations suivants :

- cas 1 : 600 mm de pluies également réparties en orages réguliers (20 mm) tout au long de la saison de croissance.
- cas 2 : 600 mm de pluies, dont 30 pourcent tombent en dehors de la saison des pluies. Durant l'hivernage, les séquences de sécheresse de plus de 10 jours se produisent, pendant la germination et les étapes de remplissage de grains. Les événements pluvieux fréquents dépassant 50 mm, entraînent les eaux de ruissellement de +50 pourcent.

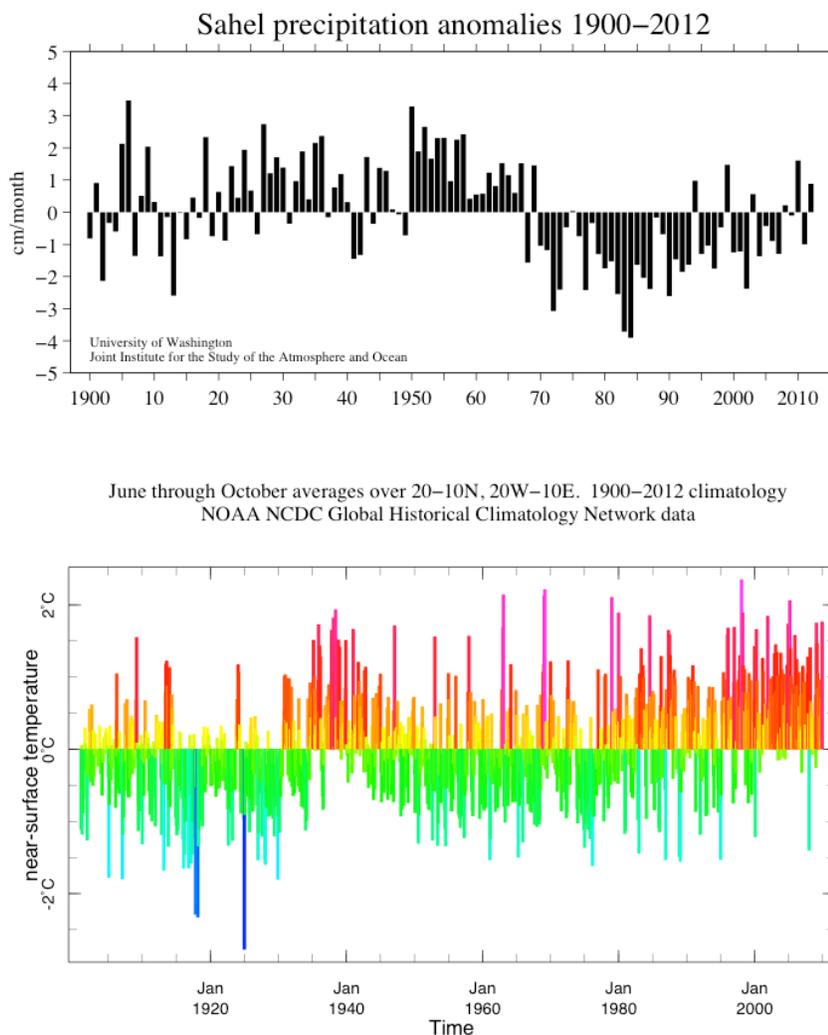
Des précipitations agronomiques efficaces seraient de 600 mm dans le cas 1 mais, en raison de la synchronisation et de la concentration des événements pluvieux, d'environ seulement 270 mm d'eau dans le cas 2. Pourtant, les recommandations techniques fondées sur des moyennes annuelles de précipitation, seraient les mêmes dans les deux cas. Ces recommandations constitueraient une capitalisation des pratiques de mise en valeur de la conservation d'humidité et de fertilité des sols, tels que le labourage, le sillonnage, et l'accumulation de matières organiques.

Dans le cas 1, une analyse se concentrant sur la moyenne interannuelle aurait été remarquée, dans le cas 2, ce type d'analyse aurait été complètement hors-cible. La réponse technique du cas 2 n'aurait non seulement pas aidé les agriculteurs à parler des réalités de leur situation mais en plus, si ces derniers avaient vraiment investi dans des méthodes de récupération d'eau proposées, elles auraient été mal adaptées et auraient eu des effets contre-productifs par rapport dans un contexte général de baisse des précipitations. Une plus grande fréquence d'événements orageux pourrait aboutir à la formation de flaques au-delà des sillons, qui, une fois débordés, pourraient entraîner un effet de cascade et complètement affaisser la pente des sillons. Ces cas sont censés être extrêmes, mais la recherche prouve que de telles tendances, commencent à vraiment, se manifester.

Chaque mois depuis février 1985, les températures moyennes mondiales ont excédé celles de la période climatique antérieure (Centre national des données climatologiques [NCDC], 2013), avec des températures saisonnières en hausse d'ici à l'an 2100, dont les prévisions devraient dépasser les moyennes saisonnières les plus extrêmes du siècle dernier (Battisti & Naylor, 2009, Gourdj et al., 2013). On sait qu'un air plus chaud retient davantage d'humidité. Les événements d'inondation enregistrés se sont développés rapidement sur chaque continent, excepté l'Océanie depuis 1950 (Hassan et al., 2005). Les récentes recherches au Sahel, ont démontré que le rebond partiel des niveaux de précipitations entre les années 90 et 2000, à la différence de la période humide antérieure (1950 à 1960) (voir Figure I.1, page suivante), se compose d'une fréquence jours pluvieux semblable à celle de la période de

sécheresse (1970 à 1980), mais une augmentation importante du volume des précipitations par événement (Giannini et al., 2013, Lebel & Ali, 2009), en particulier vers la fin de la saison (Figure I.2, page suivante). Le rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental pour l'évolution du climat (GIEC) sur les extrêmes climatiques (SREX), fait état d'une plus grande fréquence d'évènements pluvieux et des vagues de chaleur en Afrique depuis les années 1946 à 1965. Le rapport projette que d'ici à la période 2081 - 2100, les événements qui survenaient tous les 20 ans, se produiront tous les 2 ans (GIEC, 2012). En s'appuyant sur des éléments concrets, un changement d'orientation vers une concentration sur la survenue intrasaisonnière des événements météorologiques extrêmes est crucial, alors qu'une analyse continue fondée sur des moyennes interannuelles de précipitations, correspondra de moins en moins aux réalités des effets de la répartition intrasaisonnière, auxquels les agriculteurs doivent faire face.

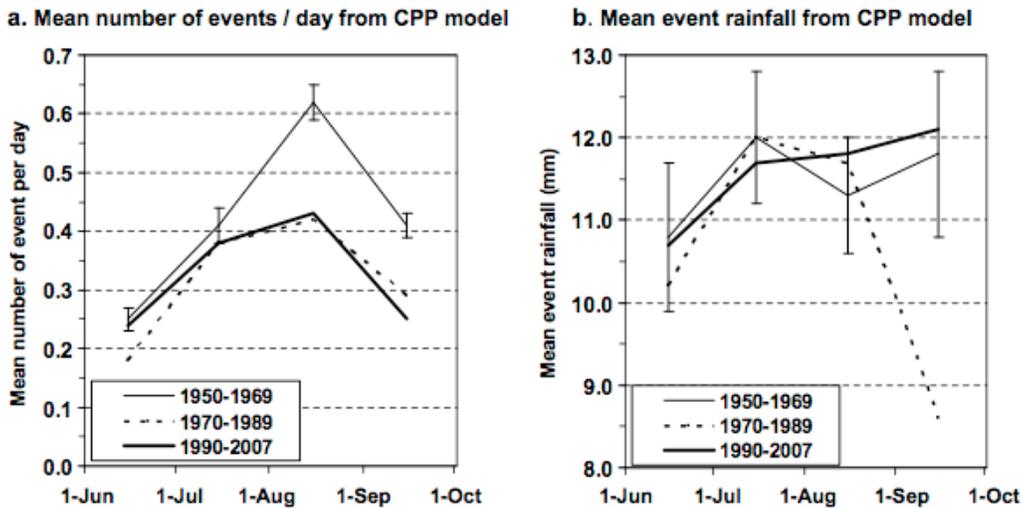
**FIGURE I.1. RECORDS DE PRECIPITATIONS ET DE TEMPERATURES AU SAHEL (DE 1900 A CE JOUR)**



Source : Les données de précipitations obtenues à partir des sites : <http://jisao.washington.edu/data/sahel/> (8/13) et <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UEA/CRU/TS3p11.monthly/tmp/> par Sylwia Trzaska (8/13).

Au Sahel, la décision des agriculteurs concernant le moment de planter les cultures (peut-être la plus importante à prendre chaque année), est largement établie sur leurs attentes concernant le début de la saison des pluies et sa durée (Simpson, 1999). Les agriculteurs doivent attendre l'arrivée des pluies régulières, puisque les cultures sont plus vulnérables au stress de sécheresse au cours des premiers stades, et peuvent être endommagées par des événements sporadiques, tôt dans la saison. D'autre part, si les agriculteurs plantent trop tard, les cultures manquent l'opportunité de recevoir des nutriments. Etant donné que les pluies initiales arrosent les résidus de cultures, l'engrais, et toute autre matière organique rencontrée dans les terres, elles libèrent un regain de nutriments. Cette recrudescence nutritive passe rapidement, de sorte qu'un retard de seulement deux semaines dans les semis peut avoir comme conséquence des pertes importantes de rendement, pouvant atteindre 30 pourcent pour les arachides et 60 pourcent pour le sorgho (Jaeger, 1986). Les agriculteurs qui plantent tardivement, prennent aussi le risque que la saison finisse avant que les cultures atteignent leur maturité. Une analyse fondée sur les moyennes annuelles des précipitations n'aborde pas les défis liés au caractère saisonnier ; contournant ainsi la décision la plus importante que les agriculteurs doivent prendre chaque année.

**FIGURE I.2. FREQUENCE DES EVENEMENTS ET VOLUMES QUOTIDIENS DES PRECIPITATIONS SUR TROIS EPOQUES (NIAMEY, NIGER)**



Seasonal cycles of the parameters of the CPP model fitted to the daily series of observation at the synoptic Niamey station.

Source : Lebel et Ali, 2009

Les évaluations de l'impact des changements climatiques sur les principales cultures céréalières et légumineuses en Afrique de l'Ouest ont été conduites en utilisant des paramètres annuels (Jalloh et al., 2013). L'évaluation des impacts des tendances intrasaisonnières commence à peine à être explorée. C'est un secteur ayant le plus grand potentiel de nouvelles contributions, en guise d'activité analytique supplémentaire.

## I.2 SELECTION DU CALENDRIER

Au niveau de notre analyse, la deuxième décision la plus importante ayant une influence sur la qualité et l'utilité des effets projetés du CC sur l'agriculture au Sahel, est le choix des délais utilisés dans l'analyse. La décision relative aux délais à prendre en compte devrait refléter les usages prévus de l'analyse. Les organisations prenant des décisions opérationnelles à court et moyen terme et faisant des investissements stratégiques à plus long terme, exigent des conseils à ces deux niveaux. Pour ce qui est

des interventions dites “douces”, sur des termes court à moyen (5 à 10 ans), des projections sur des délais plus courts sont plus adaptées. Pourtant, les investissements au niveau des infrastructures “lourdes” et la recherche stratégique, censés répondre aux conditions prévisibles à moyen voire long terme (20 ans et plus), tireront, de toute évidence, bénéfice de scénarios à plus long terme. Bien que quelque peu arbitraires, les dates indiquées de 2025 et 2050 représentent des délais raisonnables de l’analyse fondée sur le CC, et sont conformes aux laps de temps utilisés dans d’autres analyses. La période de 2025 accorde un temps nécessaire et une prestation pour les cycles de projets typiques, axés sur des mesures d’adaptations à court terme. Ces dernières fournissent des conseils sur des investissements plus stratégiques et à plus long terme, tels que les initiatives d’amélioration génétique des cultures, visant les conditions futures prévues.

### **I.3 SELECTION DE L’APPROCHE DE PREVISIONS CLIMATIQUES**

Après une sélection des délais appropriés d’analyse, les prochaines décisions importantes touchent les approches analytiques adéquates pour une utilisation à différents intervalles. Elles incluent les deux approches utilisées pour la projection des conditions atmosphériques futures et l’évaluation des réactions des cultures à ces conditions. Ces choix sont interdépendants. Les différentes approches de projection des conditions atmosphériques futures, sont associées à différentes méthodes d’évaluation des réactions des cultures.

Les choix permettant d’établir des projections climatiques sont limités à l’usage des modèles climatiques ou à un prolongement des tendances observées. Cependant, la capacité de ramener à une échelle inférieure les multiples Modèles de circulation générale (MCG) (par exemple, Jalloh et. al, 2013), ou des projections d’ensemble de MCG (par exemple, Ramriez-Villegas et al., 2013) au niveau national avec suffisamment de précision, afin de refléter au niveau agricole les événements météorologiques importants, n’est actuellement pas possible. En revanche, vu ce qui est connu des facteurs du système climatique en Afrique l’Ouest, ainsi que les tendances décennales, une approche de projection peut être choisie avec un tant soit peu de confiance sur le court terme, et beaucoup moins d’efforts. Les records empiriques des stations météorologiques peuvent être questionnés, par rapport aux tendances quant à la fréquence et l’amplitude des événements météorologiques extrêmes. Les tendances (si elles existent) peuvent être prolongées sur la prochaine décennie.

Toutefois, sur des périodes plus longues, il n’y a aucune raison de croire que les tendances récentes de précipitations continueront jusqu’en 2050, alors qu’il est certain que les températures continueront à s’élever, certes avec une divergence sur les taux d’augmentation. Afin d’estimer le changement des paramètres climatiques de base (température et précipitations), l’utilisation de projections climatiques modélisées, aussi imparfaites soient-elles, est l’approche plus appropriée, plus précisément, une fois appliquée à de plus grandes échelles spatiales (c.-à-d., la sous-région d’Afrique de l’Ouest). L’utilisation d’une approche de modélisation pour la période 2050, pourrait exclure la capacité à évaluer les changements des événements météorologiques intra-annuels, mais il serait intéressant d’identifier les tendances centrales du futur climat, utiles dans la prise de décision d’investissements à long terme, tels que le financement des programmes d’amélioration des principales cultures, ce qui prendra probablement plusieurs décennies à développer de nouvelles variétés tolérantes.

### **I.4 SELECTION DE L’APPROCHE ANALYTIQUE : MODELISATION OU DIAGNOSTIC DES CULTURES**

Après la sélection d’une orientation inter- ou intra-annuelle à l’analyse, aux périodes analytiques, et à l’approche de projection des futures conditions atmosphériques, une décision doit être prise quant à la meilleure manière de saisir les caractéristiques importantes des réponses des cultures (“normes de réponse”). Les choix sont la modélisation des cultures et le diagnostic phénologique.

Les modèles de cultures sont de deux types généraux : les modèles établis à partir des processus et ceux fondés sur les statistiques. Les modèles de culture mécanistes ou de processus font appel à des algorithmes et des entrées de données étendues, afin de produire des approximations sur les réactions physiologiques des plantes aux facteurs environnementaux. Ces modèles exigent des données de terrain et, à quelques exceptions, tendent à se concentrer sur les cultures principales et les conditions dominantes des zones tempérées. Ils sont normalement conçus en vue d'accepter des données météorologiques sur un laps de temps quotidien, et ainsi peuvent prendre en considération les variations climatiques intra-annuelles, quand ces données sont disponibles. Au cas où, les données météorologiques sont manquantes ou incomplètes, ou si de futures conditions atmosphériques doivent être examinées, comme dans des scénarios de CC, d'autres modèles sont employés, en vue de produire ou de combler les lacunes d'entrées de données météorologiques importantes. Les modèles statistiques, en revanche, ont recours à de vastes ensembles de données empiriques de rendement des cultures dans des conditions environnementales différentes, comme point de départ dans la prévision des réactions des cultures aux principaux paramètres environnementaux.

Regrouper la base de données utilisée dans les modèles statistiques des cultures, exige beaucoup d'efforts. Dans la plupart des cas, cela comporte une vaste utilisation d'essais contrôlés impliquant des intrants d'arrosage et d'engrais, afin d'établir un modèle de grille des régimes variables d'hygrométrie et de fertilité des sols. Lorsqu'elles sont utilisées dans la prévision des réponses futures des cultures aux CC, la recherche prouve que les modèles statistiques fonctionnent mieux, à de plus grandes échelles spatiales (c.-à-d. régionales et mondiales), correspondant à plus d'exactitude des modèles climatiques, à grande échelle (Lobell & Burke, 2010). Il est généralement convenu que dans les conditions environnementales extrêmes, l'exactitude du phénomène (qu'il soit établi à partir d'un processus ou de statistiques) n'est pas souvent effective et/ou est incapable de répondre à plus d'un facteur (par exemple, chaleur ou sécheresse extrêmes), pour ceux qui sont ordinairement vérifiés sous des scénarios de CC. Cette situation reflète en partie, l'état de la science, les finalités initialement envisagées pour lesquelles les modèles ont été conçus, et la disponibilité des données qui les soutiennent. Une méta-étude de 2011 de 16 études des impacts possibles des changements climatiques sur la productivité des cultures en Afrique de l'Ouest, a constaté que les modèles qui reposent sur des processus et des statistiques produisent des résultats semblables relatifs aux rendements futurs. De façon générale, les études réalisées ont produit une grande variabilité de rendements, allant de moins 50 pourcent à plus de 90 pourcent. Des changements de rendement allant de moins 50 pourcent à plus de 90 pourcent. La perte médiane étant de près de 11 pourcent de la production (Rodier, 2011).

Si l'objectif est de projeter des rendements potentiels, l'utilisation des modèles de cultures est la seule alternative logique, malgré qu'elle soit limitée dans l'exactitude et la disponibilité des modèles par rapport à des cultures spécifiques. Cependant, l'effort exigé dans la production d'entrées de données météorologiques nécessaires, traduisant des conditions futures fondées sur une compilation suffisamment importante des différentes stations météorologiques à travers le Sahel, indispensables à l'utilisation d'approches de modélisation des cultures, constituerait un défi énorme et exorbitant. Ce défi serait encore plus grand, à cause de la nécessité de paramétrer et saisir les données nécessaires aux modèles de cultures, par rapport à chacune des principales d'entre elles au Sahel (ou de leurs substituts). L'utilisation d'un ensemble de données assis sur un modèle climatique régional, éliminerait la capacité à surveiller et évaluer les impacts à court terme des tendances d'événements météorologiques intrasaisonniers extrêmes.

D'une façon générale, le diagnostic phénologique représente une initiative de comparaison des réactions des cultures face aux conditions environnementales actuelles avec les réponses face aux conditions environnementales futures prévues. Les agriculteurs ont longtemps employé des éléments de l'essai phénologique, en déterminant l'assortiment écologique des nouvelles variétés. De même, les agronomes ont eu recours à la phénologie des cultures dans la modélisation en vue d'optimiser les options de

gestion et de conception des essais pratiques. Les climatologues ont tenté d'utiliser les analyses statistiques de synchronisation d'événements pluvieux afin d'orienter les décisions sur le choix des cultures et des variétés (par exemple, Sivakumar et al., 1993), comme guide référentiel des agriculteurs, eu égard aux décisions d'ensemencement (Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineuses [SRCVO], 1992) et aux fins d'analyser les changements structurels pendant la saison de croissance (Lodoun, et al., 2013). Le dépistage du seuil phénologique des cultures, permettant de prévoir des réactions spécifiques face au CC, constitue un nouvel aspect (Mekong ARCC, 2013). En raison de leur capacité à évaluer les rendements des cultures, la pratique courante jusqu'ici est d'avoir recours à la modélisation des cultures, afin d'explorer les impacts éventuels du CC sur la productivité. Des modèles de cultures ont été employés, plus précisément à des échelles régionales et mondiales, bien que le concept soit de plus en plus appliqué au niveau sous régional et national, se concentrant sur un nombre limité des cultures (Centre international d'agriculture tropicale [CIAT], 2011, Anton et al., 2012, Hagggar et Schepp, 2011, Jassogne et al., 2013)

Le dépistage phénologique, un "outil plus robuste" que la modélisation des cultures, fait défaut quant à sa capacité de prévision face aux réactions de rendement, et constitue éventuellement une approche plus adaptée pour une identification de premier ordre des impacts probables de CC sur l'agriculture, en particulier en établissant des seuils d'adaptabilité assis sur les tolérances avérées des cultures et variétés. Dans des environnements tel que le Sahel (voir Figure 1.1), où les extrêmes climatiques sont la norme, et la plupart des cultures se situant près de la fin supérieure de la variété adaptative, le diagnostic phénologique est particulièrement utile dans l'identification de la proximité des limites adaptatives. Au cours du dépistage des "normes réactives" spécifiques aux profils des cultures, par opposition aux facteurs de stress du CC prévu, l'utilisation de la documentation, y compris les hypothèses concernant les seuils physiologiques, utilisés parmi les modèles principaux de cultures, pourvus grâce à une opinion experte, permettront l'identification de meilleures réactions adaptatives et de futurs besoins de recherche.

En somme, le fait de mesurer les preuves et l'utilisation intelligente des procédures de dépistage phénologique, combiné à une analyse des tendances météorologiques intrasaisonnières prévues, propose l'approche la mieux adaptée de prévention à court terme, des impacts du CC sur une agriculture pluviale au Sahel. L'aboutissement d'une telle analyse serait extrêmement précieuse, facilitant les programmes d'aide aux investissements éclairés dans les efforts d'adaptation au CC, au cours de la période 2025. En revanche, l'utilisation de la modélisation climatique (par exemple, le Projet de comparaison des modèles couplés phase 5 [CMIP5]) en vue de produire des conditions météorologiques interannuelles très variés, à usage des modèles de cultures, est plus appropriée à l'évaluation des impacts à plus long terme du CC (2050), et mieux utilisée auprès de secteurs plus étendus. Le niveau élevé d'incertitudes relatives aux prévisions de milieu du siècle, ainsi que d'importantes ressources requises pouvant conduire une analyse initiale, doivent être soigneusement prises en compte dans la décision d'investir dans une telle démarche.

## 2.0 ASPECTS TECHNIQUES DU DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE

Aux fins de conduire un dépistage, les limites de la zone d'étude et les cultures à étudier doivent être déterminées au préalable, suivies de la détermination des seuils de réactions génétiques des cultures aux paramètres biophysiques principaux. Les conditions environnementales à la fois actuelles et futures, avec une considération particulière pour celles liées au changement climatique, doivent également être identifiées. Ainsi, le dépistage phénologique requiert l'identification des quatre facteurs suivants :

- le repérage du lieu géographique de la zone d'étude et des cultures à considérer (abordés ci-dessous)
- une détermination du profil des normes de réaction pour chaque culture choisie (les normes de 15 cultures sont présentées dans un document annexe aux sous-séries)
- une définition des paramètres climatiques, agronomiquement pertinents (abordés ci-dessous) et
- une caractérisation des conditions climatiques et environnementales futures, à intervalles spécifiques, utilisant les mêmes paramètres que ceux qui définissent le climat actuel (une caractérisation des conditions climatiques et environnementales futures a été conduite, en même temps que cet article).

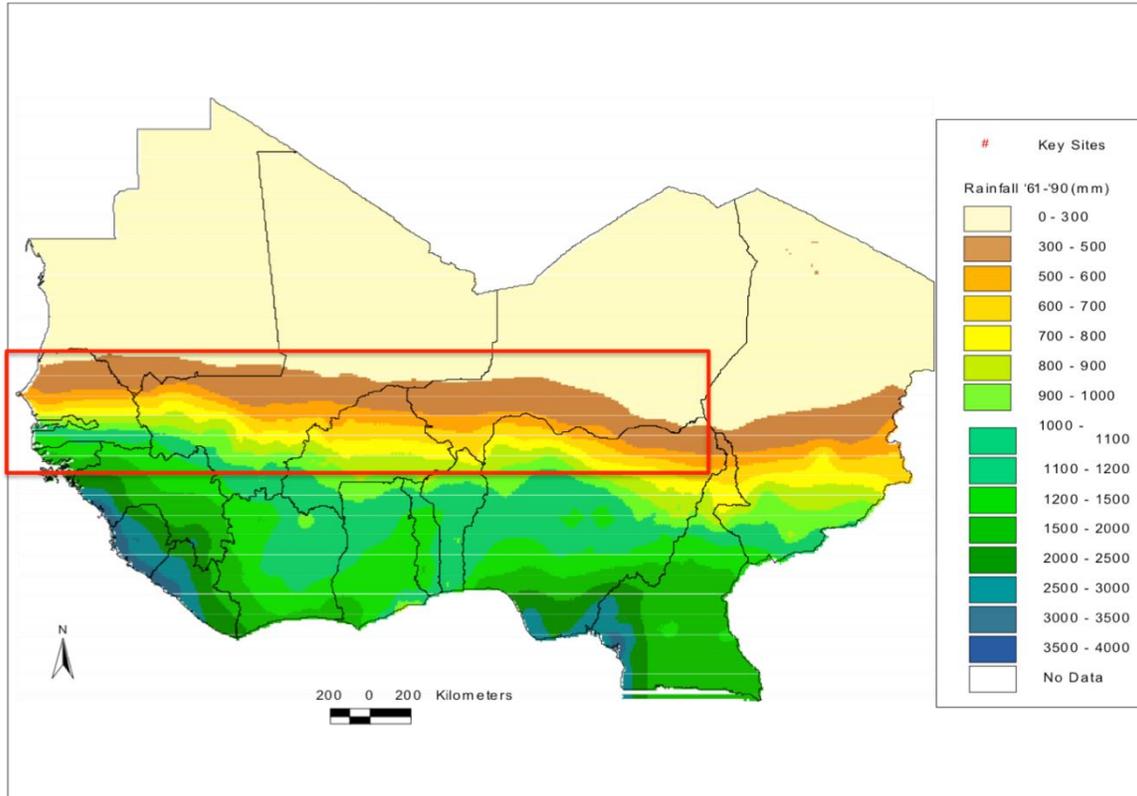
### 2.1 IDENTIFICATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DES CULTURES

La zone climatique du Sahel a été définie la première fois par des paramètres de précipitations (250 à 600 mm d'eau) par Chevallier (1900) (Lawson, 1986). D'autres ont depuis appliqué des définitions différentes (par exemple, 250 à 500 mm de précipitations par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture/Système mondial d'informations et d'alerte rapide [FAO/GIEWS], 1998), et ont ajouté aussi une sous-région sahélienne, recevant 600 à 750 mm. Hormis les délimitations exactes, le Sahel ainsi défini n'est pas un endroit géographique fixe, sa localisation physique varie en fonction des phénomènes de précipitations pertinents de la période climatique de référence. En se servant de cette définition pour encadrer l'étude, l'évaluation des impacts du CC sur l'agriculture au Sahel, serait limitée au changement de température et à la fréquence des événements extrêmes, dans la bande de 250 à 600 mm de précipitations. De façon plus générale, il s'agit d'évaluer les impacts de l'évolution climatique sur les populations et les systèmes agricoles, d'endroits fixes de la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. Dans cet esprit, la pratique climatologique d'établir un "cadre" de lignes de limitation, latitude et longitude, par lesquelles la zone climatique du Sahel passe, est une approche plus appropriée.

Afin de saisir davantage la nature d'une évaluation orientée vers les populations et les lieux, vu les niveaux élevés d'incertitudes des futures tendances des précipitations, et les modèles décennaux par le passé, il est recommandé d'y inclure la sous-région sahélienne aussi (600 à 750 mm). Bon nombre de cultures choisies de l'Afrique de l'Ouest, à haute valeur économique (par exemple, le coton, l'arachide)

n'y sont pas cultivées ou uniquement dans la partie sud du Sahel.<sup>2</sup> En constituant un cadre de limitation, à peu près 11 à 17 degrés N, 18 O et 14 E, permettrait d'adapter une vue d'ensemble plus vaste (voir Figure 2.1).

**FIGURE 2.1. LOCALISER LE SAHEL EN FONCTION DES PRECIPITATIONS ISOHYETES (1960 A 1990) DE L'AFRIQUE DE L'OUEST**



Source : Institut international de recherches sur les cultures des zones tropicales semi-arides (Icrisat), Centre du Sahel (1998).

## 2.2 DETERMINATION DES PROFILS DES CULTURES

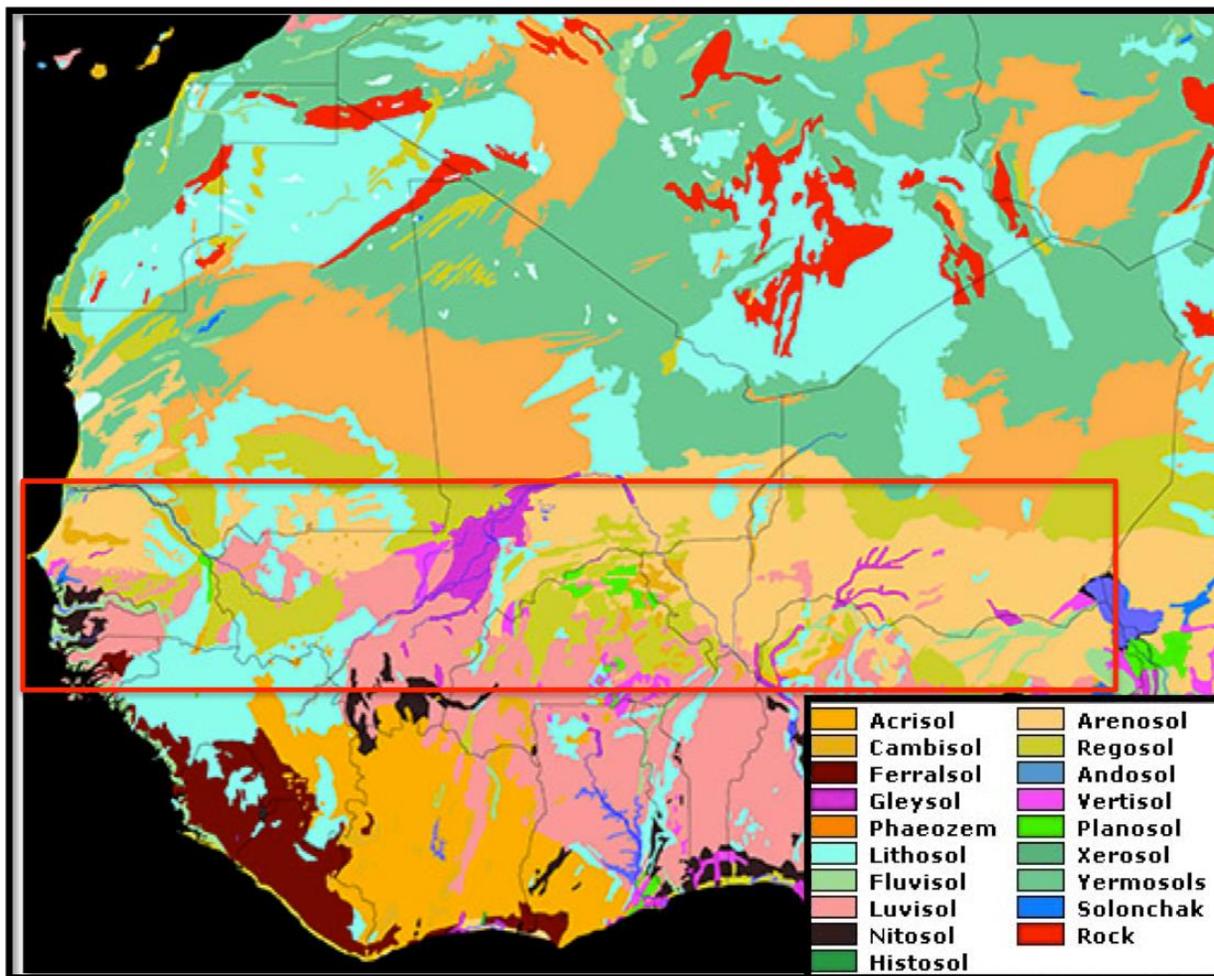
La physiologie des cultures, répond à un certain nombre de facteurs environnementaux et à leurs interactions, bien que trois en ressortent : la lumière du soleil, l'humidité, et la température. La degré d'exposition à la lumière du soleil est fixé par la latitude et ne devrait pas considérablement changer au Sahel dans les conditions de CC prévus, dû à la modification de la couverture nuageuse. Il est prévu que l'humidité et les températures soient directement altérées par le CC. Les températures et les précipitations ont des effets différentiels sur le développement des plantes et le rendement des cultures, par le fait de leur survenue temporelle. Par exemple, un intervalle de dix jours de pluies après la germination, entraînerait la mortalité d'un grand nombre d'espèces, pendant que le même laps de temps pendant la croissance végétative, pourrait provoquer un retard de croissance, voire quelques pertes, mais pas une mortalité répandue. Les étapes de floraison et de remplissage des grains, sont d'autres périodes d'une sensibilité particulière au manque hydrique. Afin de s'adapter à l'importance temporelle des différents effets environnementaux, la segmentation adéquate des étapes de croissance doit être

<sup>2</sup> Une possibilité serait d'utiliser les zones de subsistance de la FAO. Les zones pastorales et agro-pastorales ciblent bien les secteurs (<http://www.fao.org/nr/water/art/2008/flash/ruralmaps/gallery1.html>)

déterminée séparément pour chaque culture, avec l'identification des principaux seuils abiotiques, liés au temps (où ils sont connus) à chaque stade de croissance.

Un quatrième facteur est également à prendre en considération : les conditions du sols, en particulier l'intégration des seuils de tolérance au pH de la plante. L'intégration des tolérances au pH sera plus utile lorsque les secteurs de la production agricole, seront largement cartographiés (mappage) par type de sol (voir Figure 2.2), eu égard aux effets de pénétration que le pH des sols peut avoir sur la limitation de l'expansion ou le déplacement des secteurs potentiels de production de cultures, spécifiques sous le CC (plus précisément éviter que les cultures migrent vers des zones inadpatées).

**FIGURE 2.2. CARTE DES SOLS DE LA REGION DU SAHEL**



Source : FAO, Carte digitale des sols du monde, version 3.6

Dans la préparation du diagnostic phénologique, les “normes des profils de réaction” pour chaque récolte (aussi bien que les principales catégories de variétés, telles que les variétés à maturation précoce, intermédiaire et tardive) doivent être regroupées. Ces profils seront alors employés, afin de diagnostiquer les changements prévus dans des conditions environnementales majeures : les variables météorologiques (les températures, les précipitations, et la fréquence d'événements extrêmes, par exemple, les vagues de chaleur, les inondations, et la sécheresse), et un nombre limité de facteurs multiplicateurs (évapotranspiration accrue résultant de températures plus élevées, d'infiltration limitée des précipitations lors d'événements pluvieux extrêmes, et des effets de pénétration du pH des sols, des principales catégories de terres, au cours du mappage du changement des secteurs possibles de

production). Au cours du dépistage de l'impact du changement climatique au Sahel, les paramètres les plus importants des normes des profils de réaction sont :

1. **Les stades de croissance des plantes.** Déterminer clairement, le nombre minimum d'étapes de la croissance des plantes, qui doivent être pris en considération dans l'évaluation des impacts du CC pour chaque espèce. Les étapes de croissance des plantes devraient être exprimées, en termes d'âge de la plante, c.-à-d., le nombre de jours dès la plantation pour les espèces annuelles (un marqueur équivalent devra être déterminé en faveur des espèces pérennes). En vue d'éviter toute complication, les étapes de croissance des plantes peuvent être définies, en supposant que le développement physiologique des cultures se produit normalement dès la germination, comme dans les conditions climatiques optimales (ou normales/prévues). Aucun effet climatique n'est constaté dans la traduction tardive des étapes du développement. Dans la mesure du possible, les hypothèses quant à l'accélération de la maturation des cultures, due à l'augmentation des températures, peuvent être incluses dans la détermination du développement de la plante dans les conditions de CC.
2. **Les variables liées au changement climatique.** Déterminer les variables liées au changement climatique, qui seront employées dans le diagnostic de toutes les cultures. Les variables de base de valeur agronomique importante englobent :
  - a. les températures diurnes minimum et maximum
  - b. les températures nocturnes minimum et maximum et
  - c. les précipitations.

Ceux-ci sont abordés plus en détail ci-dessous, dans la section 2.3.

3. **Les dates des semis.** Pour chaque espèce annuelle, déterminer un ensemble de conditions météorologiques permettant d'établir un calendrier des semis (par exemple, "... la date après le 1er mai, quand les précipitations accumulées de plus de 3 jours consécutifs sont d'au moins 20 mm, et aucune séquence de sécheresse dans les 30 prochains jours n'excède 7 jours") (Sivakumar et al., 1993).<sup>3</sup> Les conditions d'ensemencement, seront exprimées en termes de, ou rapportées, comme variable climatique ou une combinaison des variables incluse dans les données météorologiques (abordées ci-dessous).
4. **Les seuils.** À chaque culture, la classe de variété (si applicable), et l'étape de croissance des plantes, déterminent ce qui constitue les conditions météorologiques préférables, tolérables, et de seuil, y compris :
  - a. *la sécheresse*: les lacunes néfastes des précipitations exprimées en jours sans pluie, ou de périodes d'averses cumulatives en-dessous d'une valeur fixe, par exemple, <10 mm sur plus de 20 jours
  - b. *les inondations*: l'habileté des cultures à résister aux conditions de stagnation des eaux ;
  - c. *les vagues de chaleur*: des seuils de températures de journée élevées, nocives et des durées de périodes de chaleur excessive ;
  - d. *les séquences de froid* : des seuils néfastes de température de journée/nuit ; et

---

<sup>3</sup> Au Mali, les recommandations d'ensemencement sont assises sur des dates établies pour chaque zone d'isohyètes, après laquelle s'il y a 20 mm de précipitations au cours d'un seul événement pluvieux, ou deux événements successifs de 10 mm d'eau chacun, alors la plantation peut avoir lieu (Kouressy et al., 2002).

- e. *des conditions minimum de température*: certaines espèces demandent un régime minimum de température pendant leur maturation afin de se reproduire, aussi bien que des températures de nuit basses leur permettant de respirer physiologiquement, sans lesquels leur productivité est négativement changée.

Les profils initiaux des 15 principales cultures du Sahel sont présentées dans l'étude Profils agronomiques de quinze cultures dominantes au Sahel.

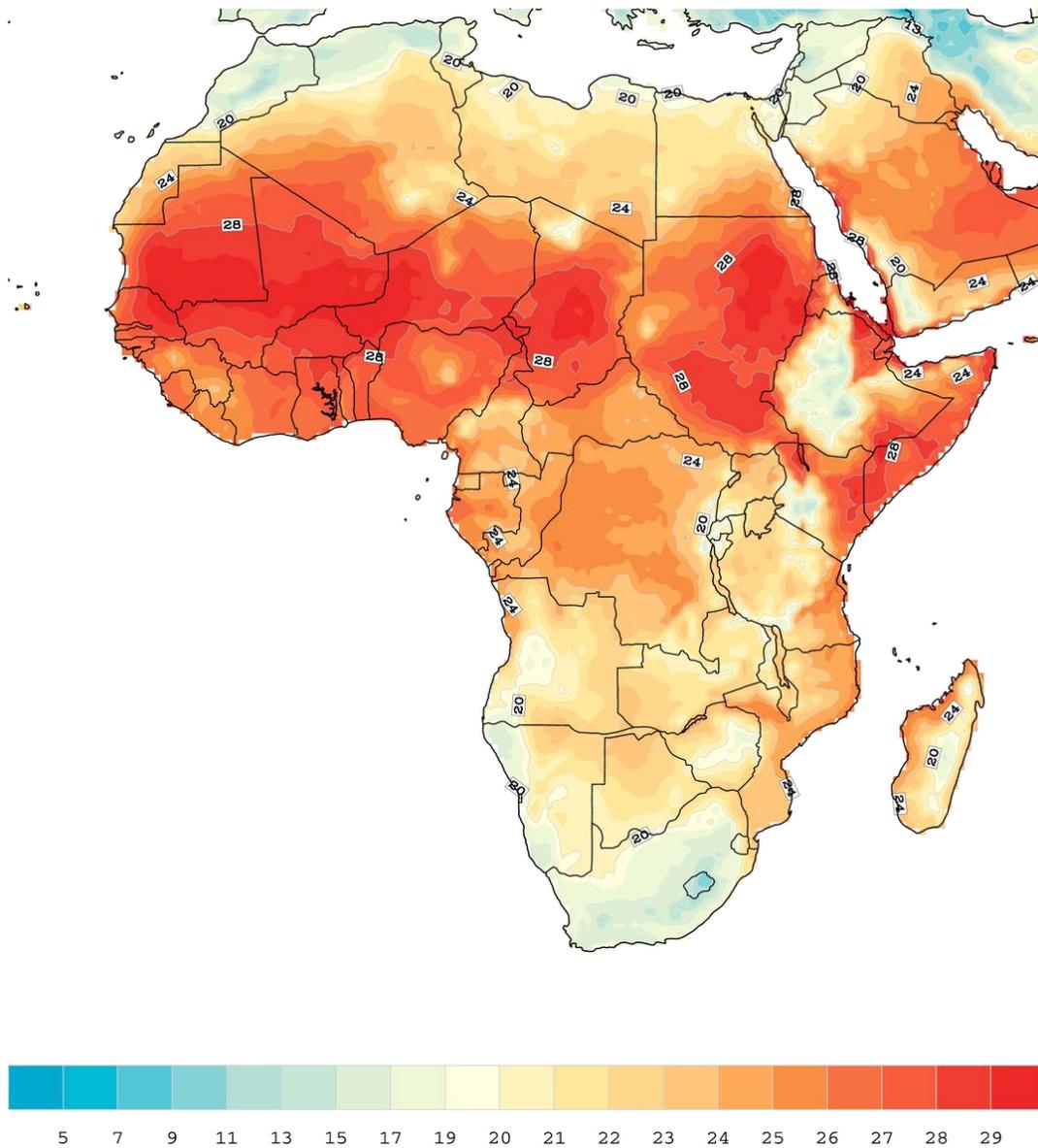
De plus, d'après la documentation publiée, les suppositions incluses dans les principaux modèles des cultures, ont été traitées en établissant des étapes de croissance des cultures et des profils de seuil. Des consultations avec des experts en matière de cultures, ont été également conduites afin de valider les normes des profils de réaction, ainsi que remplir d'importants attributs d'appoint.

## 2.3 DEFINIR LES PARAMETRES CLIMATIQUES

Des données météorologiques digitalisées sont nécessaires afin de conduire une analyse intra-saisonnière. Des rapports hebdomadaires bien que moins souhaitables, peuvent être employés en vue d'une analyse plus approfondie. De telles données tiennent compte de l'analyse fondamentale :

1. **Fréquence des événements extrêmes.** Les tendances de plus grande prévalence, des événements extrêmes et agronomiquement importants au Sahel, au-delà des trois derniers cycles de dix ans. Les périodes de 1950 à 1970, 1971 à 1990, et 1991 à 2010 correspondent respectivement aux périodes sahéliennes de pré-sécheresse, de sécheresse, et de rebondissement. La recherche climatologique récente (par exemple, Lebel et Ali, 2009) a constaté que le "rétablissement" partiel du niveau des précipitations annuelles de la période 1991 à 2010, au regard des états de pré-sécheresse (1950 à 1970) affiche une fréquence plus élevée, des grands événements de pluvieux. Les tendances de fréquence, des événements extrêmes agronomiquement importants (voir la description des seuils ci-dessus) parmi ces trois périodes climatiques, seront importantes en vue d'établir des prévisions de précipitations de l'année 2025, à partir desquelles les réactions phénologiques des cultures, seront diagnostiquées.
2. **Précipitations agronomiquement utiles.** La séparation des précipitations agronomiquement utiles des volumes totaux. Ici, deux aspects sont importants : l'élimination des précipitations en dehors de la période de croissance, trop précoce ou trop tardive et en termes de quantité. Par conséquent, la recherche sur le Sahel fait mention d'un taux moyen d'infiltration des pluies de l'ordre de 10 mm/heure, mais constate que 50 pourcent des événements pluvieux excèdent ce seuil (Sivakumar, 1989). Le type prédominant d'événements orageux, les tornades, durent typiquement moins de 2 à 2,5 heures (Cochemé et Franquin, 1967). Par l'extrapolation, des records journaliers de précipitations qui excèdent 25 mm d'eau/jour, peuvent effectivement être réduits à 25 mm (un seuil plus conservateur de 30 à 50 mm sera établi), le reste en eaux de ruissellement (bien que vraisemblablement intercepté par les méthodes de conservation des sols, une mesure d'adaptation importante).
3. **Taux d'évapotranspiration.** Des taux accrus éventuels d'évapotranspiration seraient associés à des températures plus élevées. Les quantités de pluies seront ajustées en vue de refléter une perte d'humidité accrue, due à l'évapotranspiration associée à l'augmentation des températures relatives au CC.

FIGURE 2.3. LES TEMPERATURES MOYENNES AFRICAINES DE 1971 A 2000



Source : Unité de recherche climatique (CRU), 2010.

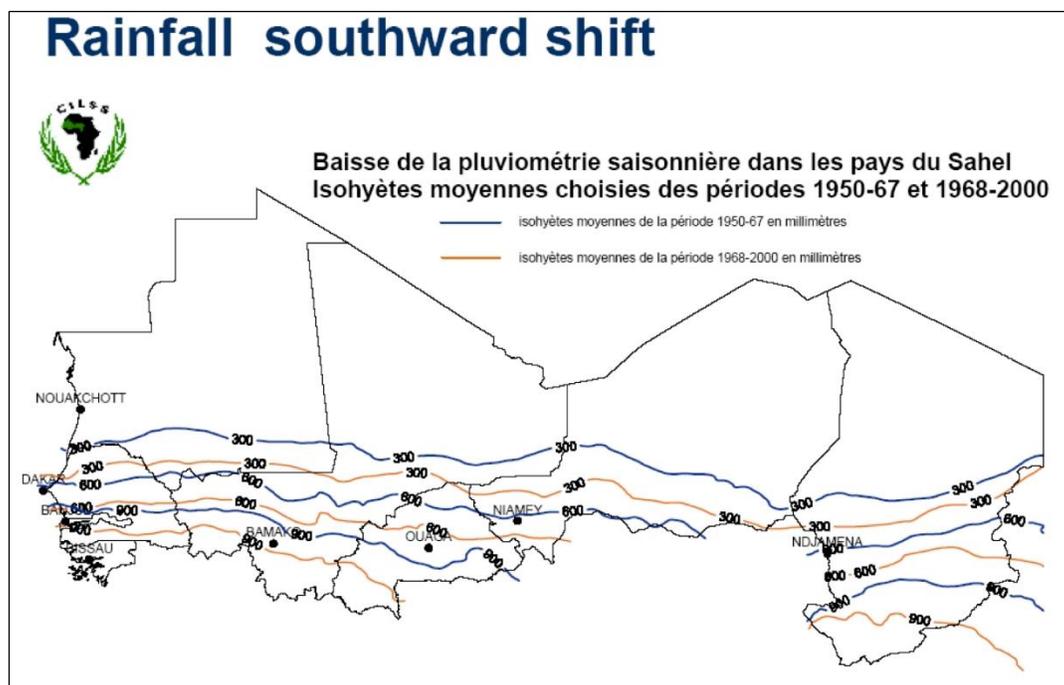
En général, si la pluviosité de la région augmente contrairement à la fréquence des événements extrêmes, les isohyètes se décaleront au nord, améliorant les conditions à travers la zone. Si les précipitations diminuaient d'un coup ou la pluviométrie changeait drastiquement provoquant une diminution effective de la quantité d'eau disponible pour les cultures, les isohyètes (ou les substituts d'isohyètes de production fondés sur l'humidité réellement disponible aux plantes) se déplaceraient vers le sud. Bien qu'il y ait une certaine diminution de productivité avec un décalage vers le sud, puisque les systèmes agricoles s'ajustent à des conditions plus sèches et déséquilibrées (la production de maïs étant remplacée par le sorgho, et le sorgho par le millet), la seule zone à perdre vraiment, seraient les secteurs les plus arides au nord, où l'agriculture pluviale ne serait plus viable (voir Figure 2.4, ci-dessous). Contrairement, à une nette gradation du nord au sud des précipitations, les températures à travers l'Afrique de l'Ouest sont beaucoup plus uniformes (bien que les données soient très

approximatives). Indépendamment des précipitations, les températures en augmentation finiront par pousser les cultures en dehors des grandes régions d'Afrique de l'Ouest, en commençant par les secteurs sous stress hydrique élevé.

## 2.4 CARACTERISATION DES TENDANCES CLIMATIQUES

La période climatologique employée, permettant d'établir les limites des zones de production des cultures et la localisation géographique, est cruciale. L'utilisation de la période 1960 à 1990, par exemple, devra être évitée, puisque la sous-région a connu un recul drastique des précipitations de 1960 à 1970, après une décennie relativement "humide" des années 50, restées basses dans les années 80, 90, et au début des années 2000. Il y a eu un léger rebondissement du niveau des pluies, au cours des 15 dernières années, bien que la pluviosité soit toujours en-dessous de la moyenne d'avant les années 1970 (voir Figure 1.1.). En règle générale, il était convenu qu'au moment des sécheresses sahéliennes, chaque altération de 100 mm de pluies, correspondait à un décalage de 100 km (nord ou sud) des isohyètes pluvieuses (Nicholson, 1982) (Figure 2.4). Il a été également démontré que chaque décalage du nord au sud de 5 à 10 kilomètres correspond à l'altération d'une journée durant la saison de croissance (Franke et Chasin, 1980). Lodoun et al. (2013) indiquent un repli de 152 mm d'eau, un retard de 12 jours sur le début de la saison des pluies et une réduction de 26 jours d'hivernage dans la zone sahélienne du Burkina Faso, entre les périodes de pré-sécheresse et de sécheresse/rebondissement (1941 à 1970 , 1971 à 2008). La Figure 2.5 signale un coefficient de variation<sup>4</sup> de la durée de la saison des pluies au Sahel : dans la partie nord du Sahel, la durée de l'hivernage peut être réduite à plus de 50 pourcent.

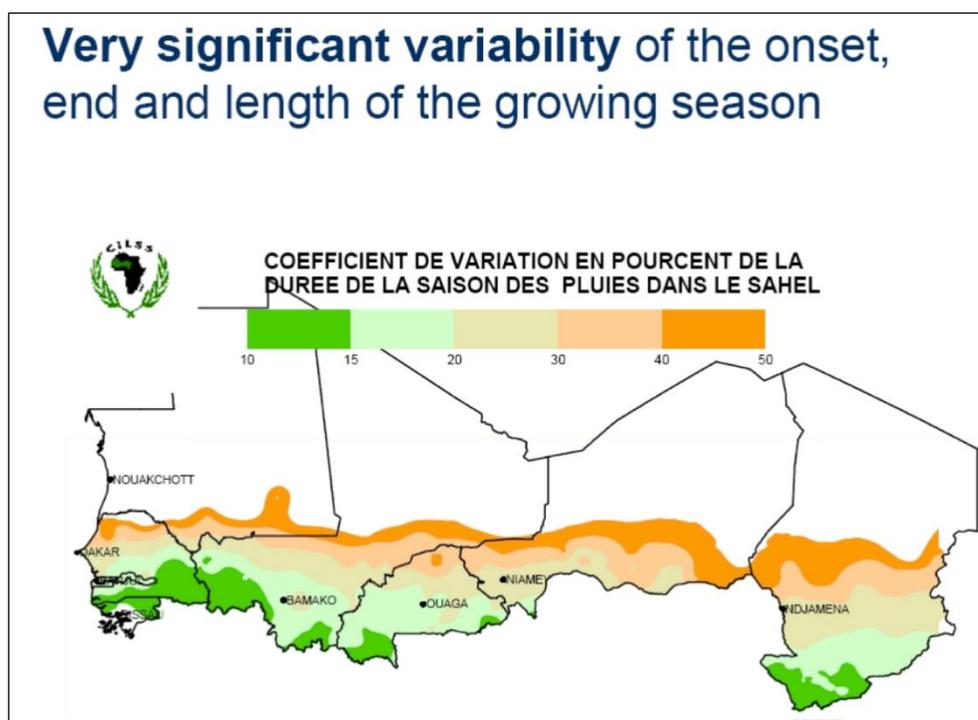
**FIGURE 2.4. ECARTS AU NIVEAU DES ISOHYETES DE PRECIPITATIONS AU SAHEL (1950 A 1967 ET 1968 A 2000)**



Source : Comité permanent des inter-états de Lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CILSS), s.d.

<sup>4</sup> Le coefficient de variation est défini comme écart-type des valeurs, divisé par la valeur moyenne et exprimé en pourcent. Un coefficient de variation de 30 pourcent signifie que 66 pourcent de toutes les valeurs se trouvent dans un intervalle de  $\pm 30$  pourcent, autour d'une valeur moyenne, et que 33 pourcent sont encore plus éloignés de la moyenne.

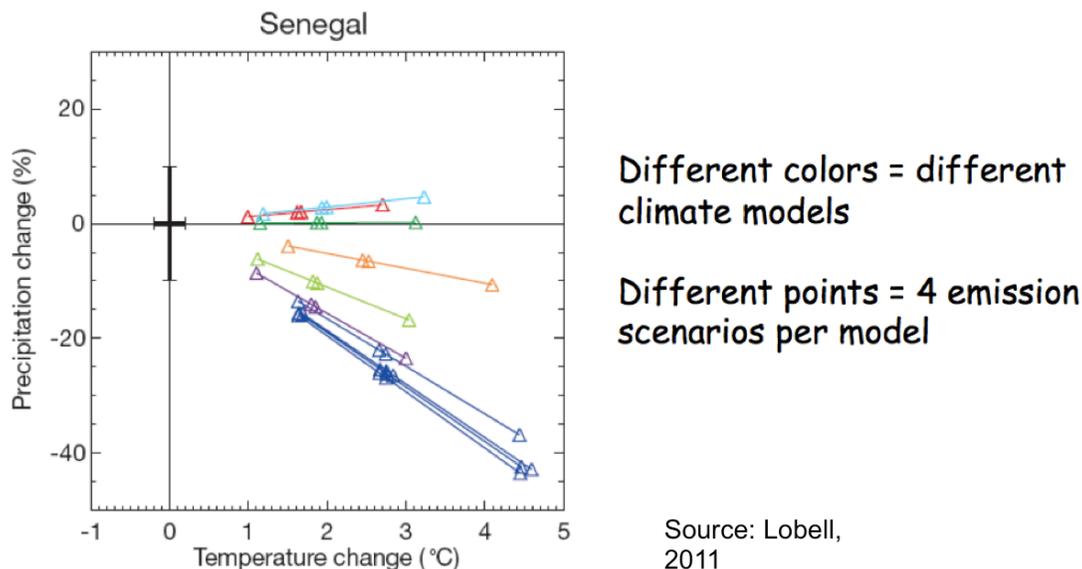
FIGURE 2.5. COEFFICIENT DE VARIATION AU SAHEL



Source : CILSS, s.d.

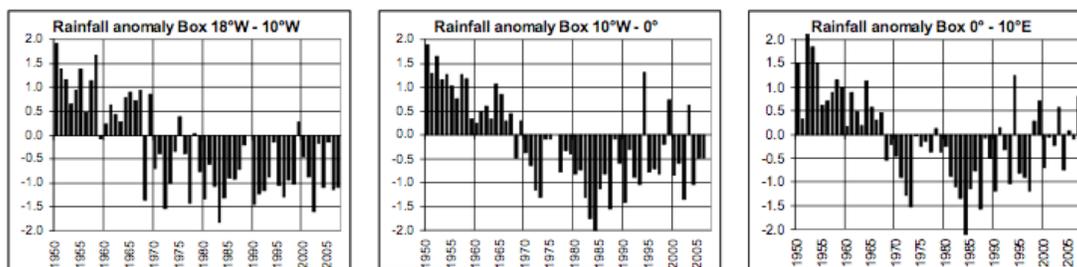
En général, les futures projections climatiques concordent avec l'augmentation des températures moyennes, avec une divergence sur l'amplitude et la rapidité du début, alors que les prévisions des précipitations diffèrent considérablement, allant de légères augmentations à aucun changement à des diminutions importantes (voir Figure 2.6). Comme il a déjà été mentionné précédemment, les records empiriques affichent des augmentations lors d'événements extrêmes à la fois, en termes de températures et de précipitations, et les projections prévoient la poursuite de ces tendances.

**FIGURE 2.6. DIVERGENCE DANS LA MODELISATION DES RESULTATS (SENEGAL), 2050 RELATIFS A LA PERIODE 1960-1990**



Dans l'évaluation des futures conditions climatiques, il est important de noter que le Sahel n'est pas un bloc uniforme. À travers l'axe est-ouest, une récente reprise des moyennes pluviométriques annuelles, montrent des différences distinctes entre la partie orientale et occidentale du Sahel, avec des écarts moindres mais plus marquants, entre le centre et l'ouest (Figure 2.7). Établir des moyennes au niveau régional, risque de masquer ces différences importantes, avec des conséquences négatives sur la planification de programmes par pays, de ce fait divisant le Sahel en segments est/ouest, or l'utilisation d'une analyse par pays est justifiée.

**FIGURE 2.7. RECORDS HISTORIQUES DES PRECIPITATIONS DU SAHEL D'EST, CENTRAL, ET D'OUEST**



Source : Lebel et Ali, 2009

## 2.5 CONDUITE DU DEPISTAGE

Au cours de l'élaboration de la discussion précédente, les points suivants présentent un aperçu d'étapes impliquées dans l'analyse phénologique au Sahel.

### 2.5.1 Définition du secteur d'analyse

Saisir les degrés de latitude qui relient les pays Sénégal, Mali, Burkina Faso, et Niger, y compris les régions sud de la Mauritanie, de l'ouest du Tchad, et du nord Cameroun, par lesquelles la bande d'isohyètes de 250 à 750 millimètres passe (Sahel et sous-région), qui repose sur les données de la période climatologique convenue.

### 2.5.2 Sélection des stations météorologiques

L'analyse devrait s'appuyer sur les quantités quotidiennes in-situ des précipitations. Les données télé-détectées ou maillées ne devraient pas être employées. Les premières, parce qu'elles risquent de produire des valeurs biaisées et remonter seulement aux années 80, les secondes, parce qu'au cours de l'émission des mailles de données extrêmes, celles-ci ont tendance à niveler. Le seul recueil de données d'observations *in-situ* couvrant la région d'intérêt, se trouve à AGRHYMET. Celui-ci est fondé sur des records fournis par les services météorologiques des différents pays, et a été compilé dans le cadre de la mission du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresses dans le Sahel (CILSS). Cependant, les données demeurent la propriété exclusive des différents services météorologiques et ne sont pas accessibles au public. L'accès doit être accordé par chacun des différents services météorologiques. Néanmoins, dans des cas spécifiques, quand l'étude bénéficie directement à la région et implique la mission d'AGRHYMET au niveau régional, des analyses peuvent être réalisées sur des données communes avec la collaboration d'AGRHYMET.

L'analyse devrait être effectuée au sein de toutes les stations de la région accessibles à AGRHYMET, après un contrôle de qualité et devrait rejeter toutes celles qui ne détiennent pas suffisamment d'archives. Selon Lebel et Ali (2009), le réseau opérationnel des pays concernés regroupe 650 pluviomètres, mais uniquement 266 ont moins de 20 pourcent de données manquantes de 1950 à 2006, et seulement 96 ont fonctionné sans interruption au cours de cette période. On estime que les séries de données seront équivalentes à celles de Lebel et d'Ali (2009), mises à jour pour 2013. Les chercheurs pourraient également vérifier, l'homogénéité spatiale des répartitions pluviométriques et ne pas prendre en compte les stations où la densité serait trop élevée, à des fins de validité des résultats à travers le Sahel, ni les chiffres visiblement biaisés par des caractéristiques locales.

Afin que ce type d'analyse soit fiable, les données d'un plus grand nombre de stations sont généralement mises en commun. Cependant, la tendance à diviser les données en sous-régions existe : Lebel et Ali (2009), par exemple, divisent la région en parties occidentale et orientale en fonction de la récupération des eaux pluviales, qui semble différente dans ces sous-régions. La division des zones du nord (<400 mm) et celles du sud (>400 à 750 mm), fondées sur les conditions hydriques des différentes cultures (par exemple, le maïs vs. le sorgho) est une autre possibilité. Afin de préserver la fiabilité statistique de l'analyse, la disponibilité des données influencera fortement les décisions de mise en commun de celles-ci.

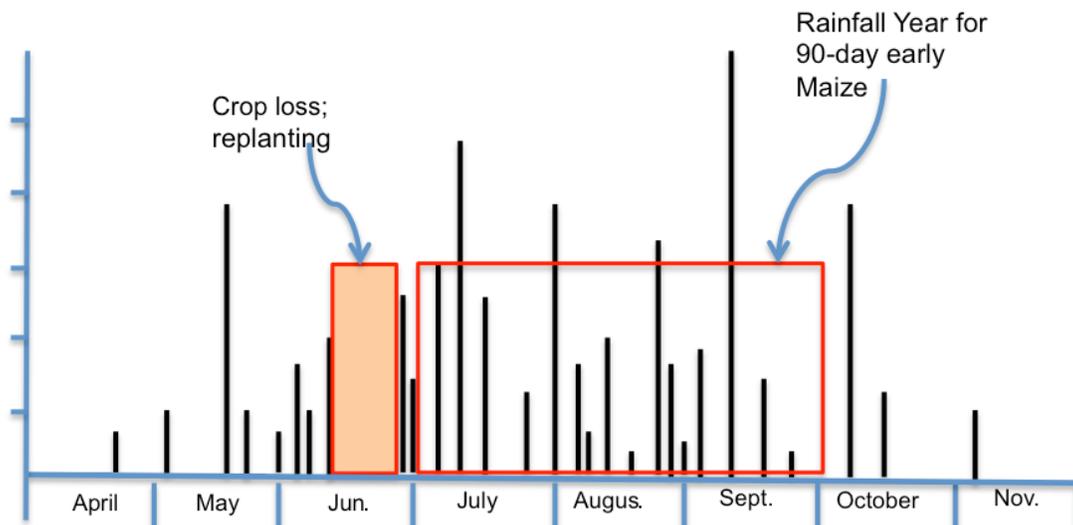
### 2.5.3 Procédures de dépistage

- Ainsi qu'il a été signalé précédemment, un profil phénotypique de chaque culture et la catégorie de chaque variété (par exemple, précoce, intermédiaire, ou tardive) seront développés, afin d'y inclure : (1) l'établissement d'un nombre minimum d'étapes de croissance des plantes, exprimé en termes de jours dès le début de la saison de croissance (c.-à-d., l'ensemencement) et (2) les normes de réaction aux paramètres climatologiques, en termes à la fois de tolérance générale et à chaque étape de croissance, et les lieux de disponibilité. Les valeurs à inclure à chaque culture comportent : les conditions idéales, les niveaux de tolérances, et les seuils critiques de températures minimale/maximale, touchant la reproduction et la croissance, les conditions et les meilleurs seuils

des niveaux minimum de précipitations et la définition des tolérances agronomiques aux événements extrêmes (sécheresse, vagues de chaleur, inondation).

- Déterminer la “pluviosité annuelle” agronomique de chaque culture en : (1) élaborant une règle de décision permettant de déterminer quand la saison agricole commence, par rapport à chaque culture (par exemple, l’ensemencement doit se produire après XX mm de pluies, au cours d’une période de YY jours, après la date de ZZ) (2) définir la date de fin de la saison de croissance de chaque culture, en fonction de la variété, là où si nécessaire, (par exemple, nombre de jours avant la moisson des variétés à maturation très précoces, précoces, intermédiaires, et tardives) et (3) l’élimination des volumes de pluies qui (a) se produisent avant la date calendaire établie de l’ “année de pluie” de l’année en cours (voir les ajustements ci-dessous), (b) se produisent après la moisson de la culture, et (c) sont au-dessus du seuil d’un seul événement par jour (par exemple, au-dessus de 30 mm/jour) (Figure 2.8).
  - Ajustement : afin d’expliquer l’occurrence commune du besoin de replanter, une règle de décision sera établie permettant de déterminer quand la remise en culture est nécessaire (par exemple, si un écart de précipitations d’au moins XX jours se produit pendant les 20 premiers jours après-germination des semis, défini en YY jours après le début de l’ “année de pluies”, avec moins de ZZ mm d’eau, puis suppose une perte totale de la culture et le besoin de replanter). Dans de tels cas, la règle de décision employée dans la détermination initiale du début de la saison de cette culture, serait réappliquée afin d’établir un nouveau “début” à cette saison.

**FIGURE 2.8. SCHEMA DE L’ANNEE DE PRECIPITATIONS POUR LE MAÏS PRECOCE**



Annual total rainfall = 620 mm; Agronomically effective = 470 mm

- Une fois que la “l’année de pluies” est établie, les records mis en commun seront questionnés quant à la survenue, la synchronisation, et l’importance des événements extrêmes, aussi bien qu’un ensemble limité d’autres périmètres. Si une des tendances de ces statistiques était délimitée et employée dans la projection du phénomène météorologique des précipitations agricoles de l’année 2025, elle serait diagnostiquée par rapport aux profils phénologiques des cultures, en vue d’établir les impacts de CC par rapport à chaque culture. Des statistiques générales seront recueillies du traitement intra-annuel, incluant : changement de fréquence et de volume des précipitations “hors saison”, avant et après l’établissement de celles-ci, décalage du début des dates des pluies annuelles,

changement de fréquence et de volume d'événements pluvieux extrêmes (quantité totale et en cours de période), changement de fréquence de la "sécheresse" définie par culture au cours des précipitations annuelles et relative aux principales phases de développement des cultures, fréquence de la nécessité de replanter en raison de sécheresse, tôt dans la saison, changement de la fréquence des vagues de chaleur, totales et relatives aux principales étapes de reproduction, changement des basses températures de nuit compromettant la respiration et la reproduction, et fréquence des jours froids pendant la saison sèche avec des impacts possibles sur la production hors saison des cultures irriguées.

- Ajustement : l'augmentation des taux éventuels d'évapotranspiration liée à de futures températures élevées, sera appliquée aux précipitations annuelles de 2025, afin de corriger l'humidité réellement disponible aux cultures dans les conditions actuelles.
- En appliquant les profils phénotypiques aux données météorologiques des cultures, une fois que la "année de pluie" est établie, un exemple de prérogative consisterait à :
  - trouver des périodes de 10 jours consécutifs, ou plus, de précipitations cumulatives d'au moins 10 mm, de 0 à 20 jours après le début des pluies annuelles (par exemple, en rapport avec la germination des cultures et croissance précoce de la plante).
- La fréquence totale de ces événements, par an, à travers une période de référence (par exemple, 1992 à 2012) et à diverses échelles spatiales (pays, région) établira une tendance qui peut être projetée, avec des intervalles fiables, au cours de la prochaine décennie en vue de l'établissement des données de la pluviométrie annuelle de 2025. Nous tirons trois leçons importantes en réalisant ceci : (1) ce qui s'est produit dans la région sahélienne quant à la fréquence des événements météorologiques, agronomiquement importants (2) après ces projections, ce qui se produira éventuellement au cours de la prochaine décennie (donner des conseils opérationnels, par rapport aux réponses adaptatives nécessaires, le cas échéant) et (3) en comparant les résultats des tendances au sein des paramètres interannuels (températures et précipitations), l'importance (ou pas) vérifiée de prendre en considération les impacts intra-annuels de l'évolution climatique, ce qui peut être positif, aura une influence sur la communauté scientifique dans le but, de renforcer davantage et de peaufiner les procédures d'analyse intra-annuelle.

## 2.6 EMPLOI DE L'ANALYSE DU DIAGNOSTIC PHENOLOGIQUE

La maîtrise du lien étroit existant entre les conditions climatologiques actuelles et les seuils physiologiques des cultures, et des lieux et moments (avec le CC) où ces seuils seront dépassés, définit nécessairement, la "marge de manœuvre" jusqu'à ce que la productivité agricole soit négativement influencée à différents endroits. En fonction du facteur dominant, les températures ou les précipitations ou les événements extrêmes, et les cultures en question, différents mécanismes de réaction peuvent sembler appropriés. Par exemple : des investissements dans les technologies de captage des eaux d'irrigation, et des options de gestion de terres qui conservent l'humidité des sols, peuvent être plus appropriés, si le facteur limitatif est la diminution de la pluviosité, en opposition aux efforts favorisant la substitution de cultures par d'autres plus tolérantes à des températures plus élevées, si les extrêmes diurnes constituaient le motif principal.

Les résultats phénologiques de dépistage peuvent alerter les décideurs politiques, quant à une perte éventuelle (ou un gain) de revenus dérivés des principales cultures commerciales du fait des CC. Les résultats peuvent également signaler la nécessité de commencer à investir dans la recherche à long terme, en vue de développer de nouvelles variétés tolérantes afin d'anticiper maintenant les conditions futures prévues, de manière à ce qu'il y ait des options techniques appropriées, disponibles dans 10 à 20 ans, lorsque ces conditions se matérialiseront. Il est primordial d'avoir une compréhension plus claire de

la proximité des seuils des cultures, particulièrement ceux associés aux tendances intra-annuelles, aux fins d'être en mesure de jauger la nécessité de développer de nouvelles technologies/pratiques. Actuellement il n'existe rien de tel.

## 3.0 SOURCES

- Anton, E., Sonder, K., et A. Schmidt. (2012) Tortillas on the Roaster: Summary Report. Central American Maize-Bean Systems and Climate Change. Baltimore : Services de secours catholiques.
- Battisti, D.S. et R.L. Naylor. 2009. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science* Vol. 233(5911): 240-44.
- Chevalier, A. 1900. "Les Zones et ces Provinces Botanique de C.A.O.F.C.R." *Acad. Sci. (Paris)* 130 : 1205-8. Dans Lawson, G.W. (ed.) *Plant Ecology In West Africa: Systems and processes* (1986). Chichester : John Wiley et Fils.
- Unité de recherche climatique (CRU). 2010. Climatic Research Unit time-series datasets of variations in climate with variations in other phenomena. Centre de données environnementales archivées. Téléchargé (8/16/13) : [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Africa\\_1971\\_2000\\_mean\\_temperature.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Africa_1971_2000_mean_temperature.png)
- Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), s.d. "Baisse de la pluviométrie saisonnière dans la région du Sahel isohyètes moyennes choisies des périodes 1950-67 et 1968-2000."
- Comité permanent des Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), s.d. "Coefficient de variation en pourcent de la durée de la saison de pluies dans le Sahel".
- Donat, et al. (28 autres). (2013). "Updated Analysis of Temperature and Precipitation Extreme Indices Since the Beginning of the Twentieth Century: The HadEX2 dataset." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* vol. 118(5): 2098-2118.
- Carte digitale mondiale de sols de la FAO (DSMW), version 3.6, 2003. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>
- FAO/GIEWS. 1998. Rapport no. 1 du Sahel. Simulations météorologiques et des cultures du Sahel. Dans Lodoun, T., Traore, P.S., Somé, L., Giannini, A., Vaskmann, M., Sanon, M., Rasolodimby, J.M., Sacko, A.F., Wambogo, C., et S. Guinko. (2013). Historical Changes and Recent Trends in Rainy Season Indicators in Burkina Faso. *Environmental Development*, vol. 5: 96-108.
- Franke, R.W. et B.H. Chasin. 1980. Seeds of Famine: Ecological destruction and the development of dilemma in the West African Sahel. *Landmark Studies*. Montclair : Allanheld, Osmun et Cie. Éditeurs.
- Giannini, A., Slack, S., Lodoun, T., Ali, A., Gaye, A.T., et O. Ndiaye. (2013). A Unifying View of Climate Change in the Sahel Linking Intra-Seasonal, Interannual and longer Time Series. *Lettres de recherche environnementale* 8(2) :
- Gourdji, S.M., Sibley, A.M. et D.B. Lobell. (2013). Global Crop Exposure to Critical High Temperatures in the Reproductive Period: Historical trends and future projections. *Lettres de recherche environnementale* 8(2) :
- Hagggar, J. et K. Schepp. 2011. "Coffee and Climate Change. Desk Study: Impact of climate change in pilot country Tanzania of the Coffee and Climate Change Initiative."

- Hassan, R., Scholes, R. et N. Ash (eds.). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Current state and trends, volume I. Findings of the Conditions and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Presse : Washington.
- Hulme, M., Doherty, R., Ngaro, T., News, M. et Lister, D. 2001. African climate change: 1900-2100. *Climate Research* 17: 145-168. Dans, Lobell, D. 2011. *Climate Change and Agricultural Adaptation*. Série de colloques sur la politique et la sécurité alimentaire mondiale, déc. 8, 2011. Université de Sanford, Centre sur la sécurité alimentaire et l'environnement.
- Centre International de l'Agriculture Tropicale (CIAT). 2011. "Predicting the Impact of Climate Change on the Cocoa-growing Regions in Ghana and Côte d'Ivoire. Final Report."
- Institut de Recherche Internationale sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides (ICRISAT) 1978. Rapport annuel de l'ICRISAT 1978. Ouagadougou, République du Burkina Faso, ministère du développement rural. Dans, Jaeger, W. *Agricultural Mechanization: The economics of animal draft power in West Africa* (1986). Boulder : Westview Press.
- Centre du Sahel de l'ICRISAT. 1998. "Locating the Sahel with Reference to the West Africa Rainfall Isohyetes (1960-1990)." Dans, Simpson, B.M. 1999. *Roots of Change: Human behavior and agricultural evolution in Mali*. IT Studies in Indigenous Knowledge and Development. Londres. Publications intermédiaires technologiques.
- IPCC.(2012). Sommaire destinée aux décideurs. Dans : *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G. - K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, et P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Université de Cambridge Presse, Cambridge, R-U, et New York, NY, USA, pp. 1-19.
- Jaeger, W. 1986. *Agricultural Mechanization: The economics of animal draft power in West Africa*. Westview Special Studies in Agricultural Science and Policy. Boulder : Westview Presse.
- Jalloh, A., Nelson, G.C., Thomas, T.S., Zoubmoré, R., et H. Roy-Macauley. (2013). *West African Agriculture and Climate Change: A comprehensive analysis*. Research Monograph. Institut de recherche internationale sur la politique alimentaire. Washington : IFPRI.
- Jassgne, L., Läderach, P., et P. van Asten. (2013). "Climate Change on Coffee in Uganda. Lessons from a case study in the Rwenzori Mountains." *Rapports de recherches de l'Oxfam*.
- Kouressy, M., Vaksman, M., Teme, N., Traoré, S.B., Sissoko, S. et A Yoroté. 2002. Dates des semis et de fin de la saison des pluies au Mali. Fiche technique. Agro-climatologie opérationnelle. Institut d'Economie Rurale. Bamako : Ministère de l'Agriculture.
- Lawson, G.W. (E-D.). 1986. *Plant Ecology In West Africa: Systems and processes*. Chichester : John Wiley et Fils.
- Lebel, T. et A. Ali. 2009. Recent Trends in the Central and Western Sahel Rainfall Regime (1990-2007). *Journal of Hydrology* vol. 375(1-2): 52-64.
- Lodoun, T., Traore, P.S., Somé, L., Giannini, A., Vaskmann, M., Sanon, M., Rasolodimby, J.M., Sacko, A.F., Wambogo, C., et S. Guinko. 2013. Historical Changes and Recent Trends in Rainy Season Indicators in Burkina Faso. *Environmental Development*, vol. 5 : 96-108.

- Lobell, D. 2011 Climate Change and Agricultural Adaptation. Série de colloques sur la politique et la sécurité alimentaire mondiale, déc. 8, 2011. Université de Stanford, Centre sur la sécurité alimentaire et l'environnement.
- Lobell, D.B. et M.B. Burke. 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150 (11) : 1443-1452.
- Mekong ARCC. (2013). Mekong Adaptation and Resilience to Climate Change (Mekong ARCC). Rapport de synthèse. Bureau environnemental régional de l'USIAD/Asia.
- Centre National de Données Climatiques (NCDC). (2013). "June 2013 Global Climate Report." Consulté en ligne (8/18/13) : <http://www.ncdc.noaa.gov/news/ncdc-releases-june-2013-global-climate-report>.
- Nicholson, S.E. 1982. "The Sahel: A climatic perspective." *Le Sahel D982* 187-Sommaire. CILSS/Club du Sahel et organisation pour la coopération et le développement économique.
- Ntare, B.R. et J.H. Williams. (1992). "Response of Cowpea Cultivars to Planting Pattern and Date of Sowing in Intercrops with Pearl Millet in Niger." *Experimental Agriculture* Vol. 28 (1) : 41-8.
- Roudier, P. et al. 2011. "The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?" *Global Environmental Change* 21 (2011) 1073-1083.
- Section de Recherche sur les Cultures Vivrières et Oléagineuses (SRCVO). (1992). *Projet Sol Eau Plante: Agro-climatologie opérationnelle. Résultats de la Campagne 1991 à 92, Propositions de programmes 1992.* Comité du programme ressources naturelles. Bamako : SRCVO.
- Simpson, B.M. 1999. *Roots of Change: Human behavior and agricultural evolution in Mali.* IT Studies in Indigenous Knowledge and Development. Londres. Publications intermédiaires technologiques.
- Sivakumar, M.V.K. 1989. "Agroclimatic Aspects of Rainfed Agriculture in the Sudano-Sahelian Zone." Dans, sols, cultures, et systèmes de gestion de l'eau de l'agriculture irriguée par les précipitations dans la zone de soudano-sahélienne : Démarches d'un atelier international, du 7 au 11 jan. 1987, Centre sahélien de l'ICRISA, Niamey, Niger. Patanchéru : ICRISAT.
- Sivakumar, M.V.K., Maidoukia, A., et R.D. Stern. 1993. *Agroclimatology of West Africa: Niger.* Bulletin d'informations no. 5. Seconde édition. Niamey : ICRISAT.

**U.S. Agency for International Development**

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20523

Tél. : (202) 712-0000

Fax: (202) 216-3524

[www.usaid.gov](http://www.usaid.gov)