

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Thème :

**Conception et modèle de tarification d'un produit  
d'assurance indicielle « Sécheresse agricole »  
Cas : Rendement céréalier de la wilaya de Tiaret (Algérie)**

*Présenté et soutenu par :*

**M. SLIMANI Si Takieddine Abderaouf**

*Encadré par :*

**M. OUESLATI Ghazi**

*Étudiant parrainé par :*

**Compagnie Centrale de Réassurance**



# Remerciements

---

*J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.*

*Je remercie spécialement Mr Ghazi Oueslati pour ses conseils qui ont éclairé et alimenté ma réflexion, son encadrement et pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période.*

*Je remercie également Mr Mohamed KHORDJ pour sa disponibilité et son soutien.*

*Je tiens à témoigner ma reconnaissance à Mr Chakib ABOUZAIID, Mr Bachir ELLOUMI et Mr Hadj Mohamed SBAA, qui ont beaucoup contribué à la définition du sujet au début de ce mémoire.*

*Enfin, je remercie l'équipe pédagogique de l'IFID qui a assuré ma formation, ainsi que mes proches et particulièrement mes amis, Dorra, Walid, Yacine, Abdelhak, Alae, Samy et Amine pour leur soutien à chaque étape de ce travail.*

---

# Dédicaces

---

*A mes chers parents, mes sœurs et mes frères,*

*A mes chers neveux,*

*A toute ma famille et mes amis,*

*A tous ceux qui me sont chers,*

*Je dédie ce travail.*

---

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : LE SECTEUR AGRICOLE ALGÉRIEN, A TOUT STRATÉGIQUE ET VULNÉRABILITÉ FACE AU CLIMAT. ....</b>	<b>6</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>6</b>
<b>Section 1 : L'Algérie, localisation et climat .....</b>	<b>7</b>
Sous-section 1 : Définition de concepts .....	7
Sous-section 2 : Caractéristiques du climat en Algérie .....	9
Sous-section 3 : L'Algérie face au réchauffement climatique.....	11
<b>Section 2 : Les caractéristiques géo-climatiques de l'agriculture algérienne .....</b>	<b>12</b>
Sous-section 1 : Les ensembles agroécologiques en Algérie.....	12
Sous-section 2 : Les terres agricoles.....	13
Sous-section 3 : Les ressources hydriques.....	16
<b>Section 3 : Le secteur agricole algérien, focus sur la filière des céréales .....</b>	<b>17</b>
Sous-section 1 : L'agriculture dans l'économie algérienne .....	17
Sous-section 2 : La production agricole, répartition et réalisations .....	20
Sous-section 3 : La filière céréales, forte dépendance et instabilité .....	23
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>CHAPITRE 2 : L'ASSURABILITÉ DU RISQUE SÉCHERESSE AGRICOLE .....</b>	<b>30</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>Section 1 : Les risques agricole.....</b>	<b>31</b>
Sous-section 1 : Classification des risques agricoles.....	31
Sous-section 2 : Les spécificités des risques climatiques .....	34
Sous-section 3 : La sécheresse agricole, concepts et indices de mesures .....	36
<b>Section 2 : Outils de gestion des risques climatiques .....</b>	<b>42</b>
Sous-Section 1 : Mécanismes et stratégies de gestion du risque sécheresse .....	42
Sous-Section 2 : Les programmes classiques d'assurance récolte.....	45
Sous-section 3 : Les limites de l'assurance classique.....	47
<b>Section 3 : Solution indiciaire pour l'assurance sécheresse .....</b>	<b>51</b>
Sous-section 1 : Fonctionnement de l'assurance indiciaire .....	51
Sous-section 2 : Construction du contrat et choix de l'indice .....	54
Sous-section 3 : Tarification.....	55
<b>Conclusion.....</b>	<b>56</b>

## **CHAPITRE 3 : CONCEPTION D'UN PRODUIT D'ASSURANCE INDICIELLE**

### **« SÉCHERESSE AGRICOLE ».....59**

#### **Introduction ..... 59**

#### **Section 1 : Présentation de l'étude et validation de l'indice..... 60**

Sous-section 1 : Zoom sur l'éligibilité de zone d'étude et les données ..... 60

Sous-section 2 : Détermination de la période de couverture du contrat ..... 67

Sous-section 3 : Calcul de l'indice RDI et étude de la corrélation ..... 70

#### **Section 2 : Proposition d'un modèle de tarification..... 74**

Sous-section 1 : Régression et évaluation de la qualité de l'ajustement du modèle. .... 75

Sous-Section 2 : Identification de la fonction de la perte captée par l'indice..... 80

Sous-section 3 : Détermination de la fréquence de la sécheresse selon l'indice RDI..... 82

#### **Section 3 : Tarification de l'assurance indicielle sécheresse agricole..... 84**

Sous-section 1 : Estimation de la sévérité par niveau du contrat..... 84

Sous-section 2 : Estimation de la prime pure par niveau de contrat ..... 85

Sous-section 3 : Proposition de formules de souscription ..... 87

#### **Conclusion..... 90**

### **CONCLUSION GÉNÉRALE .....91**

# Acronymes

- **CARE** : Cercle d'Actions et de Réflexions pour les Entreprises.
- **CCLS** : Coopérative de Céréales et de Légumes Secs
- **CNIS** : Centre National de l'Informatique et des Statistiques
- **DACA** : Dispositif d'Assurance des Calamités Agricoles
- **DSA** : Direction des Services Agricoles
- **EPA** : Entreprise Publique Administrative
- **EPIC** : Entreprise Publique à Intérêt Commercial
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- **FCGA** : Fonds de Garanties des Calamités Agricoles
- **FCIC** : Fédéral Crop Insurance Corporation
- **GLM** : Modèles Linéaires Généralisés
- **Ha** : Hectare (10000m<sup>2</sup>)
- **IMF** : Institution de Micro-Finance
- **MEER** : Ministères de l'Environnement et des Energies Renouvelables
- **MADR** : Ministères de l'Agriculture et du Développement Rural
- **OAIC** : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
- **OMM** : Organisation météorologique mondiale
- **PIB** : Produit Intérieur Brut
- **PIBA** : Produit Intérieur Brut Agricole
- **Qx** : Quintal (100kg)
- **RDI** : Reconnaissance Drought Index
- **SAT** : Superficie Agricole Totale
- **SAU** : Superficie Agricole Utile
- **SPI** : Standard Precipitation Index
- **USD** : Dollars Américain
- **WB** : La Banque Mondiale

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Définitions des concepts de base du climat .....	8
<b>Tableau 2:</b> Bilan de la production végétale des compagne agricole 2018/2019.....	21
<b>Tableau 3:</b> Evolution de l'importation des céréales en millions USD.....	25
<b>Tableau 4:</b> Répartition des céréales (superficie, production et rendement) 2018 2019.....	27
<b>Tableau 5:</b> Classification des risques selon la probabilité d'occurrence et la perte potentielle.....	32
<b>Tableau 6:</b> Aléas climatiques et spécificités.....	35
<b>Tableau 7:</b> Classification de l'indice RDI .....	41
<b>Tableau 8:</b> Mécanismes de gestion du risques sécheresse.....	43
<b>Tableau 9:</b> Niveaux d'intervention et business plans de l'assurance indicielle.....	53
<b>Tableau 10:</b> Indice de sécheresse RDI (Oct-apr) Tiaret 1988-2022 .....	71
<b>Tableau 11:</b> Test de Jarque-Bera sur l'historiques de l'indice RDI.....	73
<b>Tableau 12:</b> Analyse de la corrélation (indice-rendement).....	74
<b>Tableau 13:</b> Analyse de la significativité du modèle (Blé dur) .....	75
<b>Tableau 14:</b> Analyse de la significativité du modèle (Blé tendre).....	76
<b>Tableau 15:</b> Analyse de la significativité du modèle (Orge) .....	76
<b>Tableau 16:</b> Test de l'hypothèse nulle .....	78
<b>Tableau 17:</b> Test des paramètres des modèles .....	79
<b>Tableau 18:</b> Fréquence de la sécheresse par niveau de contrat.....	83
<b>Tableau 19:</b> Sévérité par niveau de contrat Blé dur.....	85
<b>Tableau 20:</b> Sévérité par niveau de contrat Blé tendre .....	85
<b>Tableau 21:</b> Sévérité par niveau de contrat Orge.....	85
<b>Tableau 22:</b> Prime pure par niveau de sécheresse blé dur .....	86
<b>Tableau 23:</b> Prime pure par niveau de sécheresse blé tendre .....	86
<b>Tableau 24:</b> Prime pure par niveau de sécheresse Orge .....	86
<b>Tableau 25:</b> Prime pure selon la deuxième formule Blé dur .....	87
<b>Tableau 26:</b> Prime pure selon la deuxième formule Blé tendre.....	88
<b>Tableau 27:</b> Prime pure selon la deuxième formule Orge .....	88
<b>Tableau 28:</b> Prime pure selon la troisième formule Blé dur .....	89
<b>Tableau 29:</b> Prime pure selon la troisième formule Blé tendre .....	89
<b>Tableau 30:</b> Prime pure selon la troisième formule Orge .....	89



# Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Températures moyennes mensuelles sur 20 ans .....	9
<b>Figure 2:</b> Précipitations moyennes mensuelles sur 20 ans .....	10
<b>Figure 3:</b> Evolution de la température moyenne annuelle Alger et Oran entre 1970 et 2017 .....	11
<b>Figure 4:</b> Répartition des terres agricoles .....	14
<b>Figure 5:</b> Répartition des cultures herbacées .....	15
<b>Figure 6:</b> Evolution du pourcentage de la population rurale en Algérie entre 1960 et 2020 .....	18
<b>Figure 7:</b> Evolution du PIBA et sa part dans le PIB 1999-2020 .....	19
<b>Figure 8:</b> Répartition sectorielle du PIB en 2021 .....	19
<b>Figure 9:</b> Balance commerciale et balance commerciale agricole algériennes 2001-2017 .....	20
<b>Figure 10:</b> Part des céréales d'hiver dans la superficie des cultures herbacées (Ha) sur les 10 premières wilaya .....	22
<b>Figure 11:</b> Production, importation et taux d'autosuffisance en blé 2000-2020: .....	24
<b>Figure 12:</b> Rendement des céréales d'hiver 2000-2019 .....	26
<b>Figure 13:</b> Répartition des cultures herbacées .....	26
<b>Figure 14:</b> Carte géographique de la wilaya de Tiaret .....	61
<b>Figure 15:</b> Evolution du rendement des céréales d'hiver Tiaret 2000-2019 .....	62
<b>Figure 16:</b> Production et rendement des céréales Tiaret 2000-2019 .....	63
<b>Figure 17:</b> Indicateurs climatiques de la wilaya de Tiaret .....	64
<b>Figure 18:</b> Climagramme d'Emberger sur la wilaya de Tiaret .....	66
<b>Figure 19:</b> Les différentes étapes de la culture des céréales .....	67
<b>Figure 20:</b> Diagramme ombrothermique de Gaussen sur la wilaya de Tiaret .....	69
<b>Figure 21:</b> Représentation graphique de l'indice RDI (Oct-apr) Tiaret 1987-2022 .....	72
<b>Figure 22:</b> Distribution de l'indice RDI .....	73
<b>Figure 23:</b> Equations du rendement des céréales d'hiver .....	80
<b>Figure 24:</b> Equations de la perte en rendement blé dur .....	81
<b>Figure 25:</b> Equations de la perte en rendement blé tendre .....	81
<b>Figure 26:</b> Equations de la perte en rendement orge .....	82

# Liste des annexes

<b>Annexe 1:Dispositif d'Assurance des Calamités Agricoles.....</b>	<b>93</b>
<b>Annexe 2:Régression Gamma Blé dur RDI 20 ans .....</b>	<b>97</b>
<b>Annexe 3:Régression Gamma Blé tendre RDI 20 ans .....</b>	<b>98</b>
<b>Annexe 4:Régression Gamma Orge RDI 20 ans .....</b>	<b>99</b>
<b>Annexe 5:Régression Gamma Blé dur RDI 10 ans .....</b>	<b>100</b>
<b>Annexe 6:Régression Gamma Blé tendre RDI 10 ans .....</b>	<b>101</b>
<b>Annexe 7:Régression Gamma Orge RDI 10 ans .....</b>	<b>102</b>

# Introduction générale

*« La condition naturelle à l'homme est de cultiver la terre et de vivre de ses fruits. »*

Jean-Jacques Rousseau

L'agriculture est la principale source de revenu de 80 % de la population dans le monde. Ce secteur joue donc un rôle déterminant dans la réduction de la pauvreté, la hausse des revenus et l'amélioration de la sécurité alimentaire pour les populations rurales comme pour les nations.

La culture des céréales est, et restera, la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne. La sécurité alimentaire en Algérie comme dans les pays du Maghreb semble de plus en plus menacée. En raison des changements climatiques, dont l'ampleur nécessite plus que jamais des réponses adéquates de la part de l'Etat. Les risques climatiques peuvent avoir des effets négatifs sur l'emploi rural et les ressources, accroître l'insécurité alimentaire. Les agriculteurs, qui opérant dans un contexte géoclimatique délicat, sont vulnérables à une série de risques et de contraintes qui entravent leur développement socio-économique.

Parmi tous les phénomènes météorologiques extrêmes, différentes études affirment que le déficit hydrique qui caractérise les épisodes de sécheresse agricole constitue le risque dont les agriculteurs sont le plus vulnérables et éprouvent des difficultés à y faire face, du fait qu'ils n'y ont que peu de prise, ce qui peut avoir des incidences conséquentes sur la viabilité de leurs exploitations.

Alors que le risque est un facteur qui affecte tous les domaines de l'effort et de l'activité humaine, le risque dans l'agriculture est particulièrement problématique. Certaines entreprises manufacturières ont la chance de savoir exactement combien de sorties peuvent être produites avec un nombre spécifique d'intrants. Les agriculteurs n'ont pas ce luxe, planter des semences ne garantit pas une production rentable à la fin de la campagne agricole. La dépendance de l'agriculture à la pluviométrie et le manque de capacité à contrôler ou à atténuer la présence de ce facteur de risque imprévisible peut réduire considérablement les niveaux de production et entraîner des pertes. Étant donné que la production est la principale source de revenus des exploitations agricoles, il est essentiel que les agriculteurs reconnaissent et gèrent ce risque de production.

L'accompagnement des agriculteurs vers une meilleure gestion de ces risques permet d'accroître la résilience de leurs exploitations et de minimiser leurs impacts, notamment du point de vue économique et social.

Avant de gérer le risque agricole, il faut d'abord l'évaluer et identifier les approches qui peuvent être utilisées pour le gérer de la manière la plus efficace et la plus pratique. Bien que l'assurance soit généralement la première chose qui vient à l'esprit de la plupart des gens lorsqu'ils pensent au risque, il est important de comprendre que pour le risque de sécheresse agricole ne (en raison des problèmes ci-dessous), c'est souvent l'approche la moins attrayante ou la moins pratique.

En effet, les asymétries d'informations ont souvent été évoquées comme les principales contraintes qui limitent l'assurabilité du risque sécheresse. En plus de l'ampleur des dégâts, les coûts d'acquisition d'information ou d'expertises pour contrer les assurés sont prohibitifs et empêchaient alors les assureurs de proposer des garanties à un prix acceptables pour les agriculteurs.

Fondée sur la maîtrise des variations climatiques, l'assurance indiciaire est adaptée à la sécurisation des revenus des agriculteurs. Ce modèle tend à résoudre les limites de l'assurance indemnitaire et surmonter ces contraintes. Cette innovation consiste à faire dépendre l'assurance d'un événement totalement indépendant de l'assuré, mais directement lié à ses pertes éventuelles éliminant ainsi l'aléa moral et la sélection adverse.

L'indice qui permet de matérialiser la mise en péril du rendement est calculés sur la base de données climatiques et doit être fortement corrélé au rendement. Ainsi, l'assurance indiciaire lie le déclenchement de l'indemnisation au dépassement du ou des seuils prédéfinis indiquant la perte en rendement ou le manque à gagner subi par l'agriculteur.

Ce modèle présente de nombreux avantages relativement à un système de garantie classique : déclenchement automatique de la prestation et faibles frais de gestion, délais d'indemnisation de l'ordre de quelques jours, etc. Ces derniers points poussent aujourd'hui certains assureurs européens à lancer leurs propres couvertures indiciaires, malgré la difficulté de cette démarche qui réside dans l'identification de l'indice présentant une corrélation élevée avec les pertes agricoles et minimiser ainsi le risque de base, l'étape fondamentale dans la mise en place d'une assurance paramétrique est la construction de l'indice. Puisqu'il n'existe pas d'expertise avant indemnisation.

Notre projet pour le mémoire de fin d'étude porte sur la conception et la proposition d'un modèle de tarification d'un produit d'assurance indicielle sécheresse agricole en Algérie, en partant de la problématique de l'identification de l'indice permettant de servir de base pour cette couverture, notre attention s'est portée sur les interrogations suivantes :

- Dans quel contexte géoclimatique, économique et organisationnel évolue le secteur agricole algérien ? et quel intérêt ont les pouvoirs publics à mettre des mesures pour soutenir les agriculteurs vulnérables face au aléas climatiques ?
- Quels sont les spécificités des risques climatiques liés à l'agriculture ? et comment mesurer l'état qualitatif d'une sécheresse agricole ?
- Pourquoi le risque de la sécheresse ne peut être couvert par un contrat d'assurance classique ? et comment se présente la solution indicielle ?
- Quels sont les dispositions principales du contrat d'assurance indicielle ? et quel modèle de tarification proposer ?

Notre travail consiste donc à analyser le contexte et l'intérêt d'une couverture indicielle pour le risque de sécheresse agricole, de comprendre les spécificités de ce risque, de trouver un indice fiable et pertinent fortement corrélé au rendement et le mettre à disposition d'un schéma de tarification adapté au contexte du pays dans le cadre d'un nouveau produit.

En vue de développer l'ensemble de ces idées, nous avons structuré notre étude en trois chapitres qui se présentent comme suit :

Le premier chapitre s'intitulant « Le secteur agricole algérien, atout stratégique et vulnérabilité face au climat » permettra d'exposer le contexte géoclimatique dans lequel évolue le secteur agricole algérien avant de présenter ce dernier avec une intention orientée vers son importance économique et sociale. Ce chapitre permet, dans une première partie, d'apprécier le degré de vulnérabilité du secteur et l'importance de mettre à disposition des agriculteurs des outils de gestion de risque pertinent.

Le deuxième chapitre intitulé « L'assurabilité du risque sécheresse agricole » sera dédié dans un premier temps à mettre le point sur les risques agricoles et les mécanismes de gestion de la sécheresse, d'exposer les travaux et les modèles de détection et de mesures de la sécheresse avant d'explicitier les limites de l'assurance classique pour la couverture de ce

risque et l'apport de la solution indiciaire en exposant son fonctionnement et son business model ainsi que la tarification.

Le troisième chapitre, plus thématique que les deux précédents, portera sur la conception et la tarification du produit d'assurance indiciaire sécheresse agricole sur la wilaya de Tiaret, ce chapitre présentera dans sa première section la zone d'étude, les données utilisées, le choix, le calcul et la validation de l'indice, la deuxième partie sera consacrée à la proposition d'un modèle de tarification à travers l'outil des modèles linéaires généralisés (GLM). La troisième et dernière section du chapitre servira à la proposition de formules de souscription de l'assurance indiciaire sécheresse agricole.

# **Chapitre I : Le secteur agricole algérien, atout stratégique et vulnérabilité face au climat.**

# **Chapitre 1 : Le secteur agricole algérien, atout stratégique et vulnérabilité face au climat.**

## **Introduction**

En Algérie, comme dans les pays du Maghreb. La sécurité alimentaire semble de plus en plus menacée. Associée à un niveau de croissance démographique incontrôlé, d'un manque d'infrastructures sophistiquées et de conditions climatiques difficiles.

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En effet, la filière des céréales qui constituent la principale filière de la production agricole en Algérie est confrontée à un réchauffement du système climatique qui est sans équivoque. Ce qui pourrait engendrer plusieurs impacts sur les ressources naturelles du fait de l'augmentation prononcée de température, de la baisse des précipitations et des sécheresses plus fréquentes et intenses, ne permettent pas la régénération du couvert végétal et constitueront une menace pour le secteur agricole. Le changement climatique se traduirait de ce fait à un risque des chutes des rendements agricoles.

À partir d'une revue d'articles scientifiques du contexte climatique sur lequel les acteurs du secteurs agricoles exercent. Ce chapitre a pour objectif de mettre en évidence l'intérêt de protéger et d'offrir plus de résilience aux secteur agricole.

La première section sera consacrée à la présentation du climat de l'Algérie. Il sera ensuite question d'exposer le contexte géoclimatique dans lequel évolue le secteur agricole algérien avant de présenter ce dernier avec une intention orientée vers son importance économique et sociale.



## **Section 1 : L'Algérie, localisation et climat**

L'Algérie est située au nord-ouest de l'Afrique entre 18° et le 38° parallèle de l'attitude nord et entre la 9° longitude ouest et 12° longitude est. Avec une superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup>, c'est le plus grand pays d'Afrique et le neuvième au monde. L'Algérie est un pays de la zone subtropicale où le climat dominant est chaud et sec. Néanmoins, c'est un pays très vaste et son climat est varié du fait de la grande diversité paysagères

La première section du chapitre servira à exposer le climat de l'Algérie en commençant par la définition de quelques concepts clés, avant de mettre en évidence les caractéristiques et les tendances du changement climatique.

### **Sous-section 1 : Définition de concepts**

A l'image de tous les domaines spécialisés, les sciences du climat possèdent leur propre jargon, soit des significations différentes des mots et expressions du langage courant, soit des termes spécifiques au domaine. Le tableau 1 illustre les définitions des concepts de base du climat en relation avec notre mémoire selon (Poitou et Braconnot 2021).

**Tableau 1:**Définitions des concepts de base du climat

Concepts	Définition
<b>Climat</b>	Pour une région donnée, ensemble des conditions météorologiques avec leurs fréquences relatives et leur cycle saisonnier. Le climat est souvent caractérisé par sa flore et sa faune. Du fait de la grande variabilité météorologique, la connaissance d'un climat nécessite de prendre en compte une longue période, typiquement au moins trois décennies.
<b>Météorologie</b>	Science d'étude des phénomènes atmosphériques en relation avec le temps (qu'il fait) : paramètres physiques de l'atmosphère (température, pression, humidité), vent, nuages, précipitations
<b>Pluviométrie</b>	Mesure de l'ensemble des précipitations : pluie, grêle ou neige, sur une aire géographique donnée pendant une période donnée. Si on se limite à la pluie, on parle aussi de pluviosité
<b>Alea climatique</b>	Événement susceptible de se produire et d'apporter des nuisances aux populations, aux activités ou à l'environnement. Ce peut être des événements extrêmes ou des évolutions à plus ou moins long terme liées au climat
<b>Vulnérabilité climatique</b>	Caractérise l'ampleur de l'impact négatif qu'un phénomène climatique d'origine naturelle ou anthropique (réchauffement, variabilité, extrêmes) peut avoir sur une région ou une population. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'importance et du rythme des changements auxquels le système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.
<b>Risque climatique</b>	Quand un aléa climatique menace une population qui lui est exposée et qui est vulnérable à ses conséquences, il y a risque climatique. Un risque climatique est défini par l'interaction de trois composantes : l'aléa climatique, l'exposition des populations, milieux et activités à cet aléa, et la vulnérabilité. L'impact est la conséquence du risque climatique. La sécheresse et le manque d'approvisionnement en eau, la montée du niveau des mers, les modifications de la flore et la faune... constituent des risques climatiques pour les populations qui en pâtiront.
<b>Evènement extrême</b>	Événement météorologique (canicule anormalement intense ou longue, précipitations particulièrement abondantes, froid très intense, ouragan...) conduisant à des conditions très éloignées de la moyenne climatologique. L'intensité ou la fréquence de tels événements ont de forts impacts sur la vie des gens.
<b>Sècheresse</b>	Phénomène lié à un déficit anormal de précipitations, qui entraîne des déséquilibres hydrologiques importants à l'origine de problèmes pour les populations (ressource en eau potable, agriculture...)
<b>Aridité</b>	Caractérise une région où la pluviométrie est inférieure à l'évapotranspiration possible dans cette région

**Source :** Elaboré par nos soins à partir du livre 'Les mots du climat' cité en référence.

## Sous-section 2 : Caractéristiques du climat en Algérie

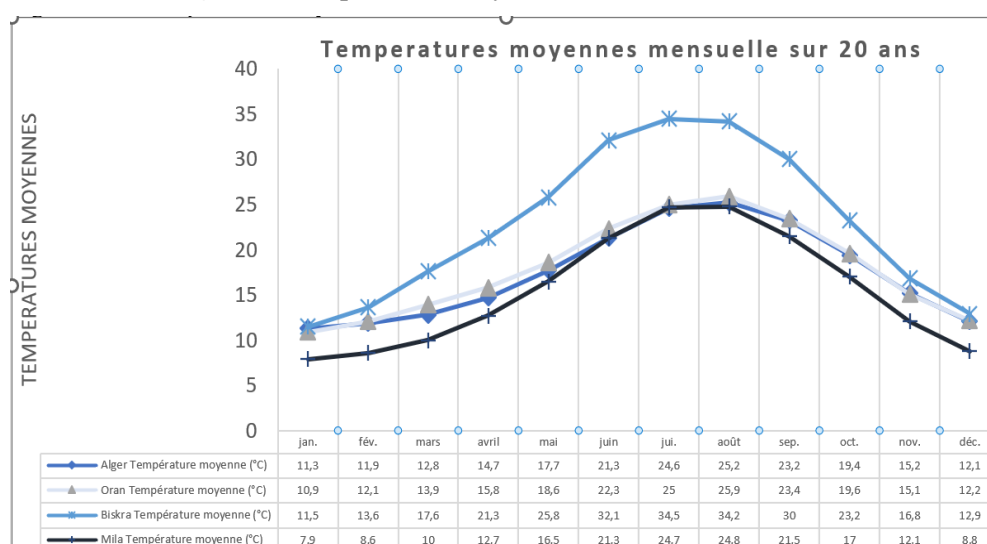
Le climat est défini par l'Organisation Météorologique Mondiale comme étant les conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné (température, précipitations, etc.). Du Nord au Sud, le climat de l'Algérie se modifie fortement. Il passe d'une tonalité méditerranéenne humide à un milieu désertique et sec, en transitant par un climat semi-aride (Bessaoud, et al. 2019)

### 1. Températures

Comme le montre la figure 1. Sur la façade de la Méditerranée, la moyenne journalière des températures maximales et minimales à Alger et Oran tourne autour de 11 °C - 12 °C en janvier et autour de 25 °C - 26 °C en juillet - août, les mois les plus chauds de l'année.

Cependant entre le climat méditerranéen et le climat désertique, deux grands types de climats, ou climats de transition, existent, notamment le climat semi-aride, qui correspond à un climat méditerranéen avec une sécheresse ne se limitant plus uniquement à l'été mais à une bonne partie de l'année avec une grande amplitude de température en hiver (36°C le jour et 5°C la nuit).

**Figure 1:**Températures moyennes mensuelles sur 20 ans



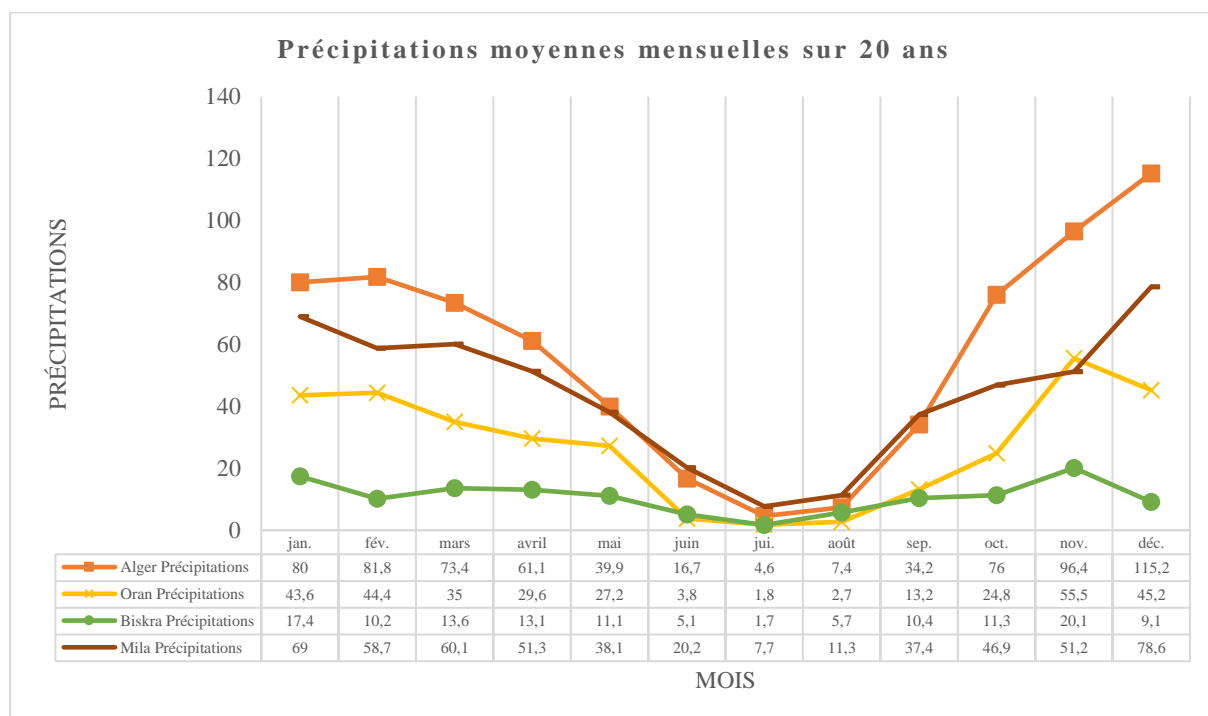
**Source :** Elaboré par nos soins à partir de weatherbase.com et climate.data.org

Les régions présahariennes et sahariennes sont caractérisées par un climat continental très aride, La température peut descendre au-dessous de 0°C en hiver et excéder 40°C en été.

## 2. Pluviométrie

La figure 2 ci-dessous, montre que dans le nord, la partie Ouest est moins arrosée que celle de l'Est, notamment à Oran où les précipitations titubent entre 330 mm et 400 mm par an, et par conséquent, le paysage est plus aride dans la région, alors que celles-ci deviennent abondantes au centre, notamment à Alger, où elles fluctuent entre 600 mm et 800 mm, l'Est algérien connaît l'existence de sommets enneigés à partir d'octobre.

**Figure 2:** Précipitations moyennes mensuelles sur 20 ans



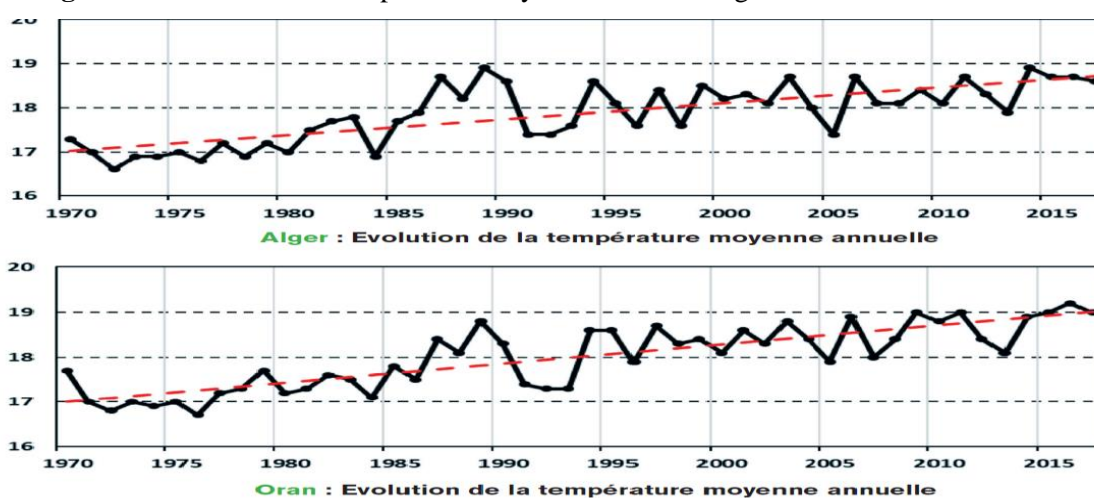
**Source :** Elaboré par nos soins à partir de [weatherbase.com](http://weatherbase.com) et [climate.data.org](http://climate.data.org)

Un climat désertique avec des pluies rares et très irrégulières, se produisant parfois sous forme orageuse. Dans la zone présaharienne, les précipitations moyennes annuelles indiquent entre 100 mm et 150 mm les précipitations moyennes annuelles indiquent entre 100 mm et 150 mm.

### Sous-section 3 : L'Algérie face au réchauffement climatique

L'évolution récente du climat montre que le réchauffement climatique est plus important dans les pays du Maghreb que la moyenne mondiale. L'Algérie est particulièrement exposée à la désertification, la dégradation des sols, la variabilité du climat et aux événements climatiques extrêmes ce qui constitue un sérieux défi pour le développement socio- économique du pays.

**Figure 3:** Evolution de la température moyenne annuelle Alger et Oran entre 1970 et 2017



Source : Office nationale de la météo 2019

La figure 3 montre l'évolution de la température à Alger et Oran de 1970 à 2017. Cette figure, basée sur les données quotidiennes de température, indique que la température a augmenté de plus de 1,5°C au cours de cette période.

En effet et selon le Plan National Climat (MEER 2019) si au niveau mondial la hausse de température au 20ème siècle a été de 0,74°C, celle sur le Maghreb s'est située entre 1,5 et 2°C selon les régions, soit plus du double que la hausse moyenne planétaire. Quant à la baisse des précipitations, elle varie entre 10 et 20%.

En Algérie, les précipitations annuelles sont susceptibles de diminuer de 10 % à 20 % au cours du 21<sup>ème</sup> siècle et la température pourrait augmenter de 2 à 3 °C d'ici 2050. (Chourghal et Huard 2020), Les études montrent que l'agriculture algérienne est susceptible d'être impactée dû à sa dépendance de l'agriculture pluviale, et en raison de la faible aptitude d'adaptation

## **Section 2 : Les caractéristiques géo-climatiques de l'agriculture algérienne**

L'Algérie jouit d'une situation exceptionnelle, c'est le plus grand pays du continent africain. Elle est bordée au Nord par la mer Méditerranée avec 1200 km de côtes, à l'Est par la Tunisie et la Libye, au Sud par le Niger et le Mali, au Sud-ouest par la Mauritanie et le Sahara occidental, à l'Ouest par le Maroc, elle est comprise entre les parallèles 18°58' et 37°05' de latitude Nord et 08°40' Ouest et 11°58' Est des longitudes, avec une superficie totale de 2 381741 km<sup>2</sup>, cette situation géographique lui confère une diversité climatique et écologique particulière.

Cette section servira en premier lieu à présenter les grands ensembles agroécologiques de l'Algérie, les territoires affectés à l'agriculture ainsi que les ressources hydriques.

### **Sous-section 1 : Les ensembles agroécologiques en Algérie**

Vu sa grande superficie et la diversité de son climat, l'Algérie comporte cinq grandes zones agroécologiques qui déterminent les activités agricoles, du nord au sud, d'après le Plan National du Climat ces ensembles sont les suivantes (MEER 2019) :

#### **a) Sahel et zones littorales**

Les conditions climatiques sont particulièrement favorables, cette zone agroécologique est occupée principalement par les cultures dites spéculatives : le maraîchage, notamment la plasticulture, et l'arboriculture (Mostaganem, Alger, Tipaza, Boumerdès, Jijel, etc.).

#### **b) Plaines Sub-littorales**

Caractérisés par des sols souvent lourds et un climat assez favorable. Les pratiques agricoles dans cet ensemble agroécologique et principalement la polyculture (cultures maraîchères, cultures fourragères, céréales et arboriculture fruitière) et l'élevage bovin.

### **c) Plaines intérieures, hautes plaines céréalières et hauts plateaux**

Cette zone est caractérisée par des hivers froids à très froids, des étés chauds à très chauds et secs. En raison de la pluviométrie relativement faible, la disponibilité de l'eau joue un rôle déterminant dans le choix des systèmes de cultures, se déclinant comme suit :

- Dans les plaines, les cultures maraichères de plein champ (saison et arrière-saison), les cultures fourragères, les céréales et l'arboriculture fruitière sont pratiquées lorsque l'eau d'irrigation est disponible.
- Dans les hauts plateaux, la céréaliculture est pratiquée en association avec l'élevage, ce qui sécurise les agriculteurs éleveurs face aux accidents climatiques de plus en plus récurrents.

### **d) Hautes plaines steppiques**

Cet espace s'étend sur une grande superficie, la culture céréalière occasionnelle principalement de l'orge est pratiquée sur les zones d'épandage de crues et destinée essentiellement comme appoint alimentaire au bétail.

### **e) Espaces sahariens et oasisien**

Cette zone connaît une rareté des terres arables et d'eau. Au fil des siècles c'est devenu un système très complexe construit sur la base de cultures à étages : palmiers, arboriculture fruitière, maraîchage, céréales, fourrages.

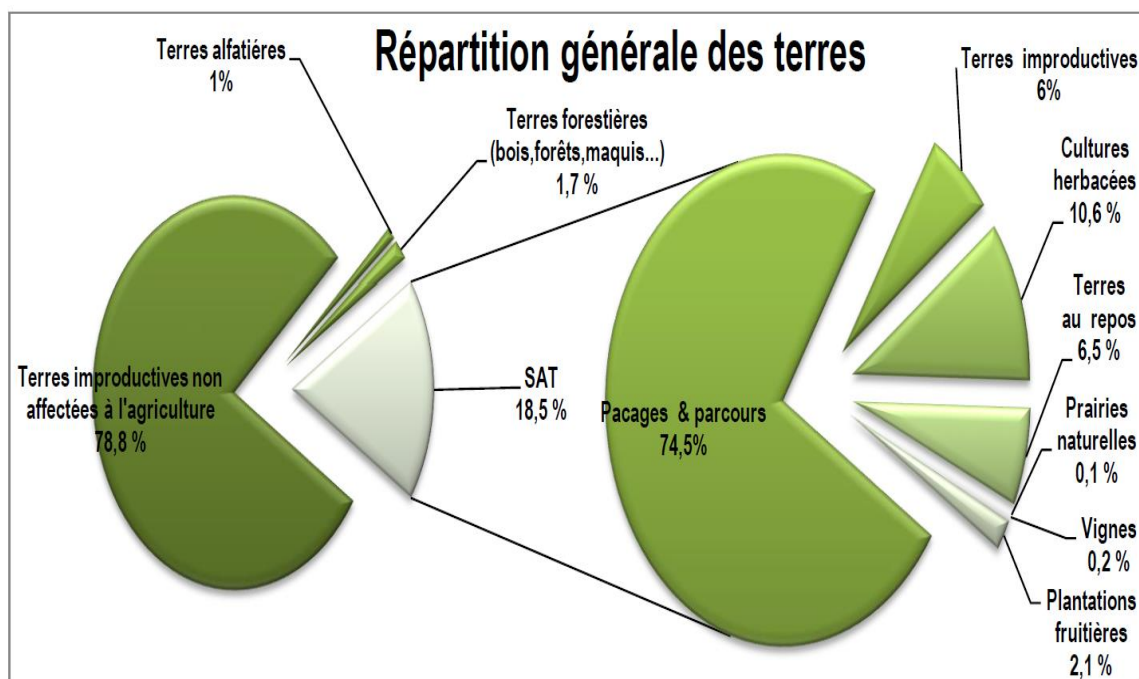
## **Sous-section 2 : Les terres agricoles**

La superficie totale de l'Algérie est de l'ordre de 238 millions d'ha et selon le dernier rapport sur les statistiques agricoles (MADR 2021) publié par le ministère de l'Agriculture, plus de 80% du territoire est non affecté à l'agriculture, cette partie comporte :

- Terres alfatières : Terres sur lesquelles l'alfa pousse naturellement sur d'immenses nappes sur les hauts plateaux de la frontière marocaine à la frontière tunisienne plante vivace pouvant servir à la fabrication du papier et s'étendent sur une superficie de l'ordre de 2,47 millions d'ha.
- Terres forestières : occupent 4,1 millions d'ha une soit 1,7 % de la superficie territoriale.

- Terres improductives non affectées à l'agriculture : dunes, terrains rocheux, couverts par les agglomérations, voies, rivières etc...) ; elles sont estimées à 187,6 millions d'ha, elles représentent 78,8 % de la superficie territoriale.

**Figure 4:**Répartition des terres agricoles

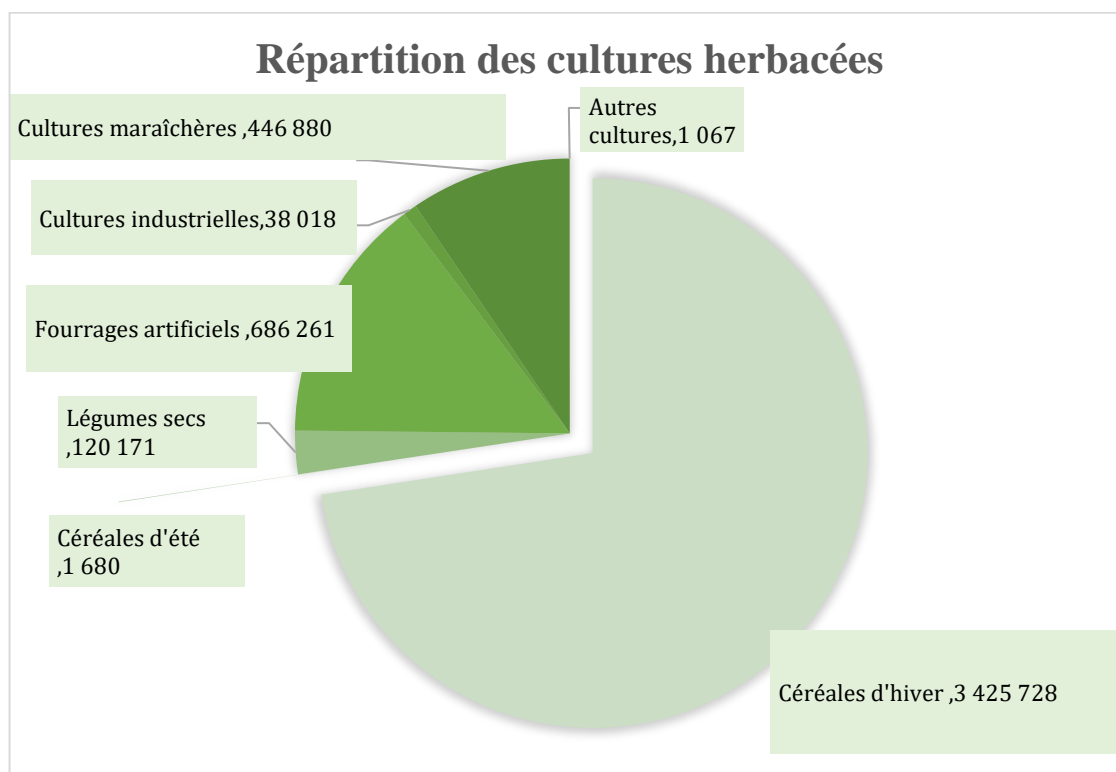


**Source :** Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

La superficie agricole totale (SAT) s'étend sur 44,00 millions d'ha soit 18,5 % de la superficie territoriale cette partie comprend les pacages et parcours : terres sur lesquelles ne s'effectuent aucune façon culturale depuis au moins 5 ans, elles servent au pacage des animaux elles s'étendent sur 32,75 millions.



**Figure 5: Répartition des cultures herbacées**



**Source :** Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

Le (SAT) comprend aussi les terres improductives des exploitations agricoles (ces terres comprennent les fermes, bâtiments, cours, aires de battage, chemins, canaux, ravins, pistes etc....). La Superficie Agricole Utile (SAU) (terres sur lesquelles sont cultivées des spéculations depuis au moins 5 ans) s'étendent sur une surface de l'ordre de 8,56 Millions d'ha, soit 19.5 % de la (SAT) et elle se répartit comme suit :

- Cultures herbacées : S'étendent sur une surface de 4,68 millions d'ha soit 54,67 % de la (SAU)
- Terres au repos : Avec une superficie de 2,85 millions d'ha, soit 33,26 % de la (SAU)
- Plantations fruitières : Occupent 10,63 % de la (SAU) soit 910 322 ha
- Vignobles : Avec 68 649 ha, soit 0,80 % de la (SAU)
- Prairies naturelles : Avec 54 117 ha soit 0,63 % de la (SAU).

### **Sous-section 3 : Les ressources hydriques**

L'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées, Le Nord de l'Algérie est défavorisé en matière d'eau souterraine (Boudjadja, Messahel et Pauc 2003)

Le secteur agricole dépend essentiellement des précipitations et l'agriculture pluviale couvre 98,6 % de la superficie agricole totale. La céréaliculture domine le Nord de l'Algérie, et est pratiquée en pluviale sur 97 % de la Surface Agricole Utile (SAU). (Schilling, et al. 2012).

La sécheresse et l'aridité constituent une menace constante, même dans les régions humides où la moyenne annuelle des précipitations paraît élevée. Les statistiques de la L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) indiquent que l'indice de pluviométrie pondéré pour les terres agricoles est de 241,5 mm pour l'Algérie, contre 287,5 mm pour le Maroc, 190,32 mm pour la Mauritanie et 326,1 mm pour la Tunisie (Bessaoud, et al. 2019).

## **Section 3 : Le secteur agricole algérien, focus sur la filière des céréales**

Durant les trois dernières décennies son rôle devient prépondérant dans divers secteurs économiques puisqu'une amélioration du secteur agricole contribué à la croissance économique. L'agriculture algérienne a connu plusieurs réformes depuis l'indépendance à nos jours, passant de l'autogestion en 1963, à la révolution agraire en 1971, puis à la restructuration de 1981 et à la réorganisation du secteur agricole autogéré, et enfin, à la nouvelle réforme en 2000 et le renouveau agricole en 2009.

Dans cette section, nous allons en premier lieu donner un aperçu général de la place du secteur agricole dans l'économie algérienne, ensuite nous présenterons les principaux produits et filières créatrices de richesse et enfin nous exposerons la filière des céréales en Algérie

### **Sous-section 1 : L'agriculture dans l'économie algérienne**

L'Algérie compte en 2022 près de 44 millions d'habitant, en soixante ans, la population algérienne a été quasiment multipliée par 4, cette croissance démographique autour d'une économie tributaire de la rente des hydrocarbures. L'agriculture est considérée comme étant un secteur prioritaire et l'une des préoccupations majeures qui animent actuellement les débats. En effet c'est l'un des piliers de base de l'économie nationale et du développement social.

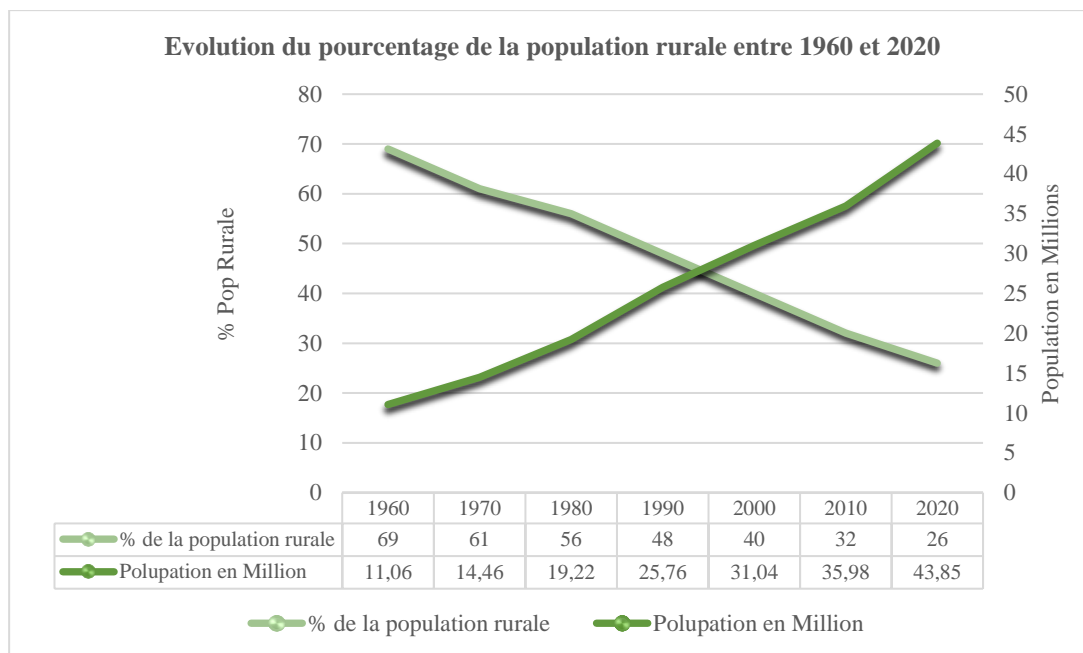
#### **1. Population rurale et emploi**

Alors que moins du tiers de la population était urbaine au milieu des années 1960. Le rapport rural-urbain s'est inversé depuis. En effet, la tendance est au déclin de la ruralité au profit de l'urbanisation qui assemble aujourd'hui plus de 73% de la population. En termes absolus aussi, la baisse de la population rurale est enregistré au cours des deux dernières décennies. Le secteur agricole a connu une croissance plus modeste en termes d'emploi.

La population active agricole occupée (Tout statut confondu, chefs d'entreprises, aides familiaux, salariés permanents ou temporaires), qui comptait 873 000 personnes en 2000 compte moins de 900 000 personnes en 2014 et la part de l'emploi agricole a chuté de

22,5 % à 12,7 % entre 1995 et 2016, cette part s'établissant à 12 % en 2018 (Bessaoud, et al. 2019).

**Figure 6:** Evolution du pourcentage de la population rurale en Algérie entre 1960 et 2020



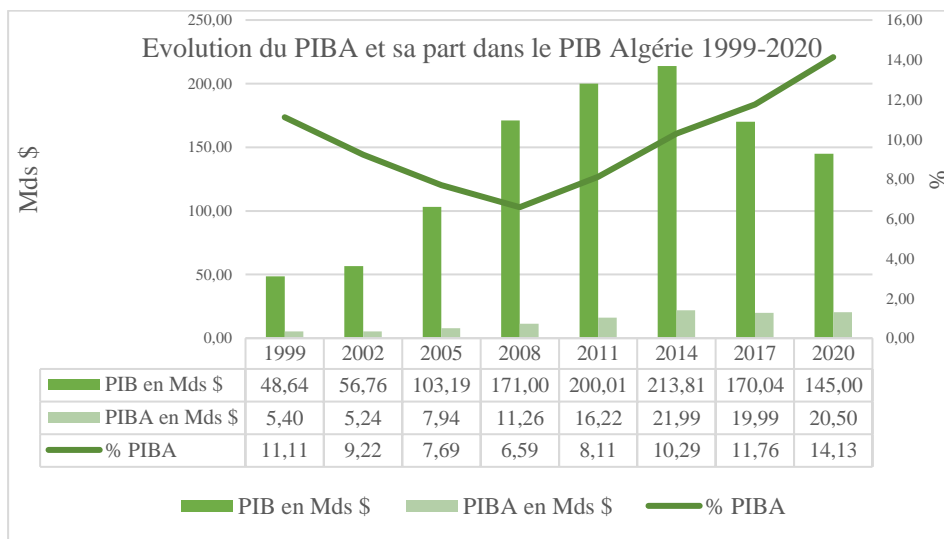
Source : Données de la Banque Mondiale

## 2. Contribution du secteur agricole dans le PIB et balance commerciale

D'après les données de la banque mondiale. Le PIB algérien s'élevait en 2020 à 145,2 milliards USD et affiche sur la période 2000-2020 un taux de croissance en Algérie était en moyenne de 3 % mais, du fait de la chute des prix du pétrole, la croissance s'est ralentie ces dernières années.

Comme le montre la figure 7, Au cours des deux dernières décennies (1999-2020), la Production Intérieure Brute Agricole (PIBA) est passée de 5,4 Mds USD en 1999 à 11,2 Mds USD en 2008 et plus de 20 Mds USD en 2020, en pourcentage du PIB, le secteur a amélioré sa place de manière quasi continue entre depuis 2011 passant de 8,11% à 15,47 en 2021.

**Figure 7:** Evolution du PIBA et sa part dans le PIB 1999-2020

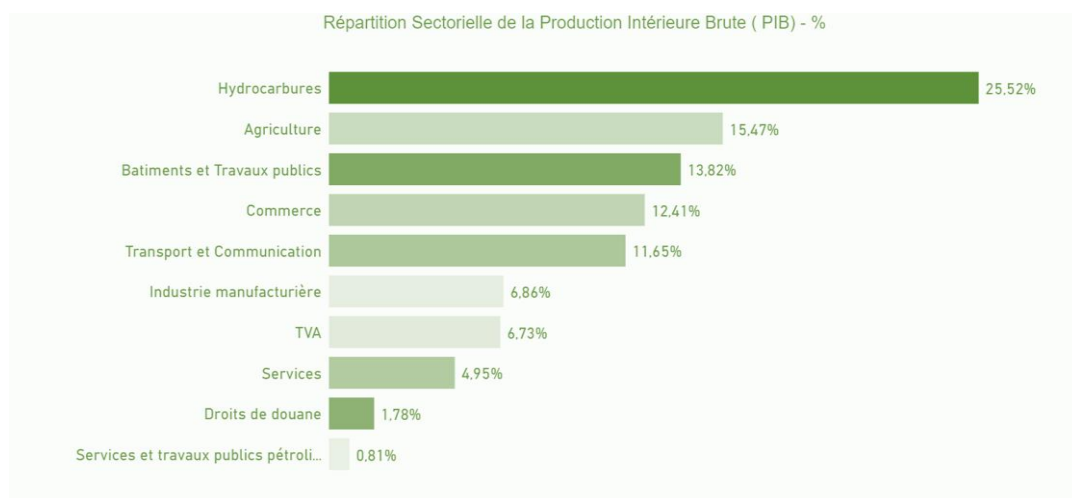


**Source :** Données Banque Mondiale

L’agriculture est une source de croissance économique, selon le tableau de bord de l’économie algérienne mis au point par le Cercle d’Actions et de Réflexions pour les Entreprise (CARE). La contribution du secteur agricole était de 15,47% en 2021, profitant du déclin de la contribution des hydrocarbures l’agriculture (11%).

Les hydrocarbures et dérivées ont représenté l’essentiel des exportations à l’étranger durant l’année 2017 avec une part de 95,7 % du total des exportations (en valeur), signe d’une faible diversification du tissu économique et/ou d’une faible compétitivité des entreprises agricoles ou industrielles algériennes.

**Figure 8:** Répartition sectorielle du PIB en 2021

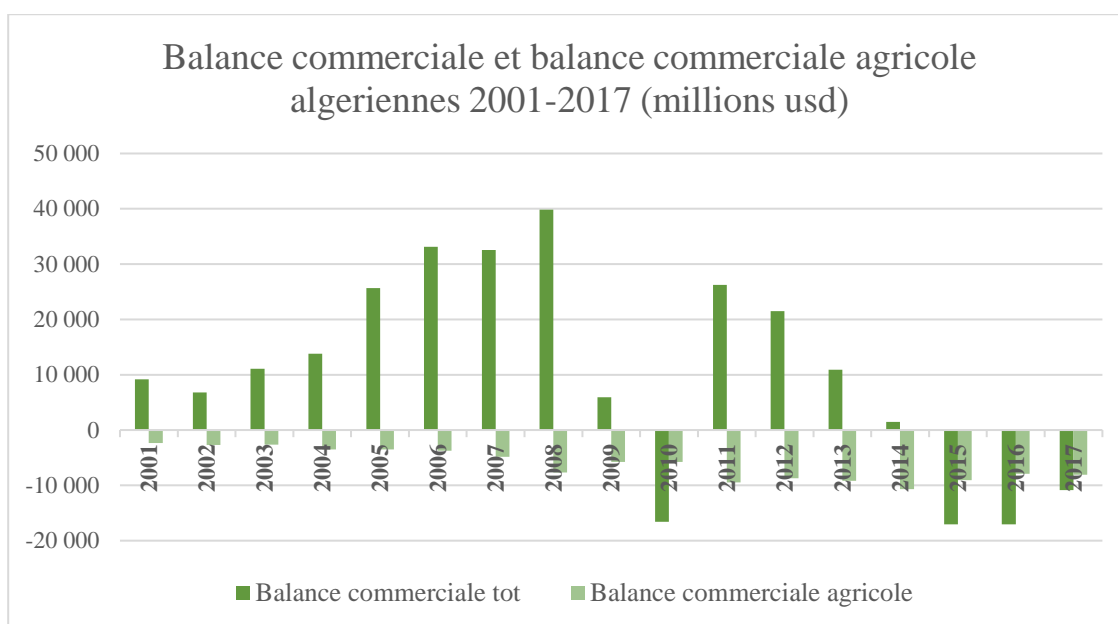


**Source :** le Cercle d’Actions et de Réflexions pour les Entreprise (CARE)

Excédentaire jusqu'en 2014, la balance commerciale accuse un déficit de presque 20 milliards USD en 2016.

C'est en tenant compte de ce cadre macro-économique et financier fortement contraint qu'évolue le secteur agricole et alimentaire et le modèle de croissance qui est promue par les pouvoirs publics. Afin d'inverser cette tendance, les autorités publiques ont adopté des mesures drastiques de contrôle des importations totales a été multipliée par 2.6, celle de légumes secs par presque 8, et celle de lait par 2 (Bedrani et Cheriet 2012).

**Figure 9:** Balance commerciale et balance commerciale agricole algériennes 2001-2017



Source : Données de la Banque Mondiale

En effet l'Algérie dépend encore plus des importations pour nourrir sa population. La part des importations dans les disponibilités de blés a plus que doublé en moyenne annuelle entre les périodes 1963-1967 et 2006-2010, celle des céréales

## Sous-section 2 : La production agricole, répartition et réalisations

Selon le dernier bilan de production végétale de la campagne agricole 2018/2019 publié par la direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information, au niveau du ministère de l'agriculture algérien, Les principales cultures algériennes sont les céréales, l'arboriculture, les fourrages ou l'alimentation des animaux d'élevages, et les cultures maraîchères, couvrent près de la moitié de la surface agricole utile (SAU).

Le tableau 2 résume les productions végétales durant les années 2018 et 2019, nous allons essayer d'appréhender ces données d'une manière brève, citant les principales productions en fonction de leur poids dans le système alimentaire algérien :

**Tableau 2:** Bilan de la production végétale des campagne agricole 2018/2019

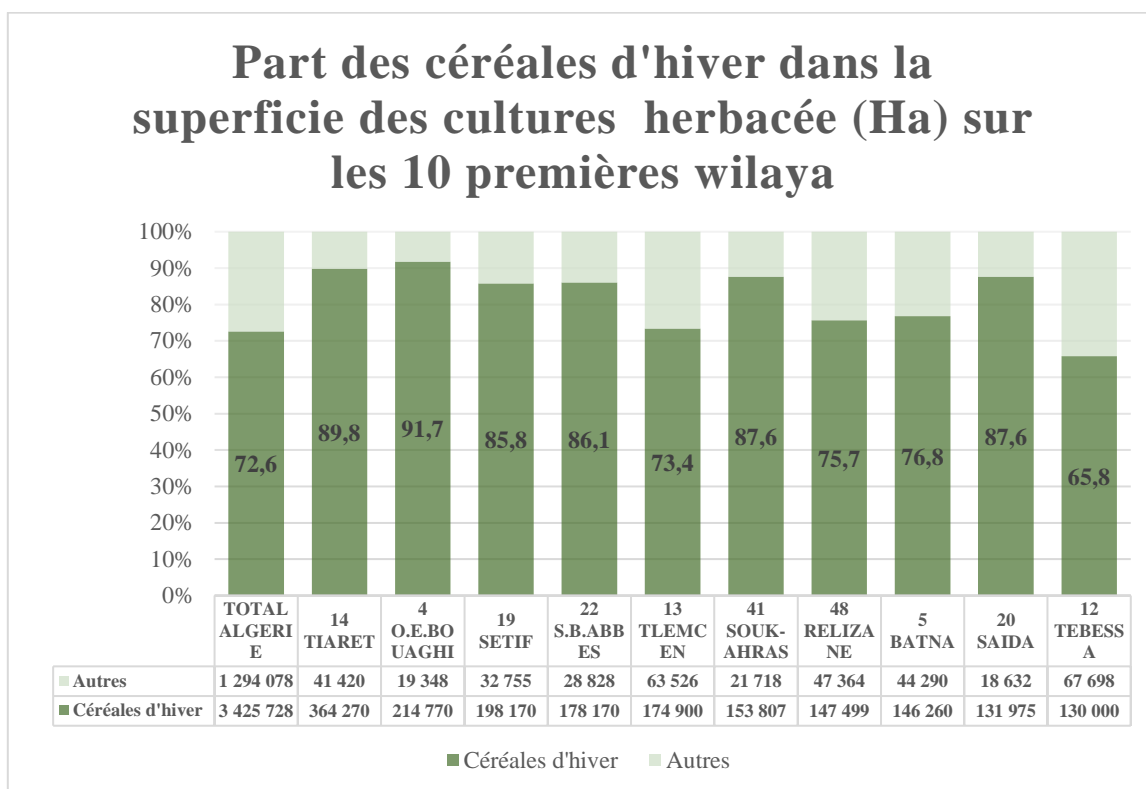
Produit	2018			2019		
	Superficie (Ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/Ha)	Superficie (Ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
Céréales d'hiver	3 106 102	60 568 040	19,5	3 185 647	56 259 902	17,7
Céréales d'été	2 515	450 450	179,1	1 665	72 954	43,8
Cultures industrielles	36 427	15 872 668	435,7	38 018	17 178 179	451,8
Légumes secs	111 823	1 376 378	12,3	119 217	1 362 293	11,4
Cultures maraîchères	509 341	136 570 863	268,1	533 060	146 700 413	275,2
Fourrages	878 012	48 792 647	55,6	959 841	52 608 912	54,8
Fourrages naturels	258 578	8 518 737	32,9	273 581	8 970 997	32,8
Agrumes	58 296	12 031 973	206,4	63 744	15 834 931	248,4
Vignobles	66 264	5 709 718	86,2	61 676	5 498 329	89,1
Espèces à Noyaux et / ou à Pépins (Arbres Fruitières)	205 689	15 426 232	75	177 681	16 460 532	92,6
	<b>Nbre d'arbres en rapport</b>	<b>Production (Qx)</b>	<b>Rdt /arbre</b>	<b>Nbre d'arbres en rapport</b>	<b>Production (qx)</b>	<b>Rdt kgs/arbre</b>
Palmiers dattiers	65,4	15 733 624	10 295 957	68,8	16 508 912	11 360 249
Oliviers	19,6	35 506 041	6 969 615	20	43 474 114	8 687 541
Figuiers	26,6	4 948 112	1 317 980	23,5	4 855 726	1 140 917

Source : Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

## 1. Céréales d'hiver

La superficie des céréales d'hiver domine largement la surface consacrée aux cultures herbacées avec de 3,42 millions d'ha soit près de 73%. La production est estimée à 56,26 millions de quintaux, par rapport à celle enregistrée au cours de la campagne précédente, elle affiche une baisse de l'ordre de 7 %.

**Figure 10:** Part des céréales d'hiver dans la superficie des cultures herbacées (Ha) sur les 10 premières wilaya



**Source :** Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique sera explicitée dans la section consacrée à la filière.

## 2. La production des fruits et légumes

L'Algérie, qui est traditionnellement un pays exportateur des fruits et légumes, fait face depuis une quinzaine d'années, à de sérieux problèmes d'approvisionnement et de régulation de son marché. La consommation de fruits et légumes frais n'a cessé de croître et continuera vraisemblablement en raison de la forte demande. La production fruitière en Algérie a connu ces dernières années une dynamique d'extension des surfaces, une augmentation de plus de 90% entre les campagnes 2000 et 2019, de sorte que la superficie occupée par l'arboriculture en 2019 presque 1 millions hectare, soit 11% de la superficie agricole utile (SAU). Cette filière peut jouer un rôle très important dans l'activité agricole, à savoir ; nourrir la population, fournir la matière première pour l'industrie agroalimentaire et équilibrer la balance commerciale.



Dans l'ensemble, les cultures maraîchères (Légumes) s'étendent sur une superficie de 533 060 enregistrant un niveau d'occupation du sol appréciable pour une production de 146 millions de quintal.

### **Sous-section 3 : La filière céréales, forte dépendance et instabilité**

La filière céréalière en Algérie, notamment celle des blés revêt une importance stratégique dans la mesure où l'Etat l'a toujours instrumenté par des politiques de contrôle des prix et le monopole exercé sur les importations (Djermoun 2018). Le blé est devenu depuis longtemps, un produit de première nécessité à l'échelle mondiale. Son importance dépasse le rôle traditionnel considéré comme aliment, il a aujourd'hui, un rôle social, économique et politique dans la plupart des pays dans le monde.

#### **1. L'organisation de la filière**

Dans le souci d'assurer l'alimentation de base de la population et d'assurer aussi une certaine stabilité sociale, les pouvoirs publics en Algérie ont décidé de créer, une semaine seulement après l'indépendance, un organisme étatique pour organiser et gérer le secteur céréalière considéré comme stratégique. Il s'agit de l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) sous forme d'un établissement public à caractère administratif (EPA), placé sous la tutelle du ministère de l'agriculture. Avec les mutations économiques qu'a connues l'Algérie au début des années 1990 et le début de l'ère de l'économie de marché, le statut juridique de l'OAIC n'était plus adapté et ne lui permettait pas de faire face aux nouveaux défis. Dans ce nouveau contexte économique, le décret exécutif n° 97-94 du 23-03-1997 a attribué à l'OAIC un nouveau statut, celui d'Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC)

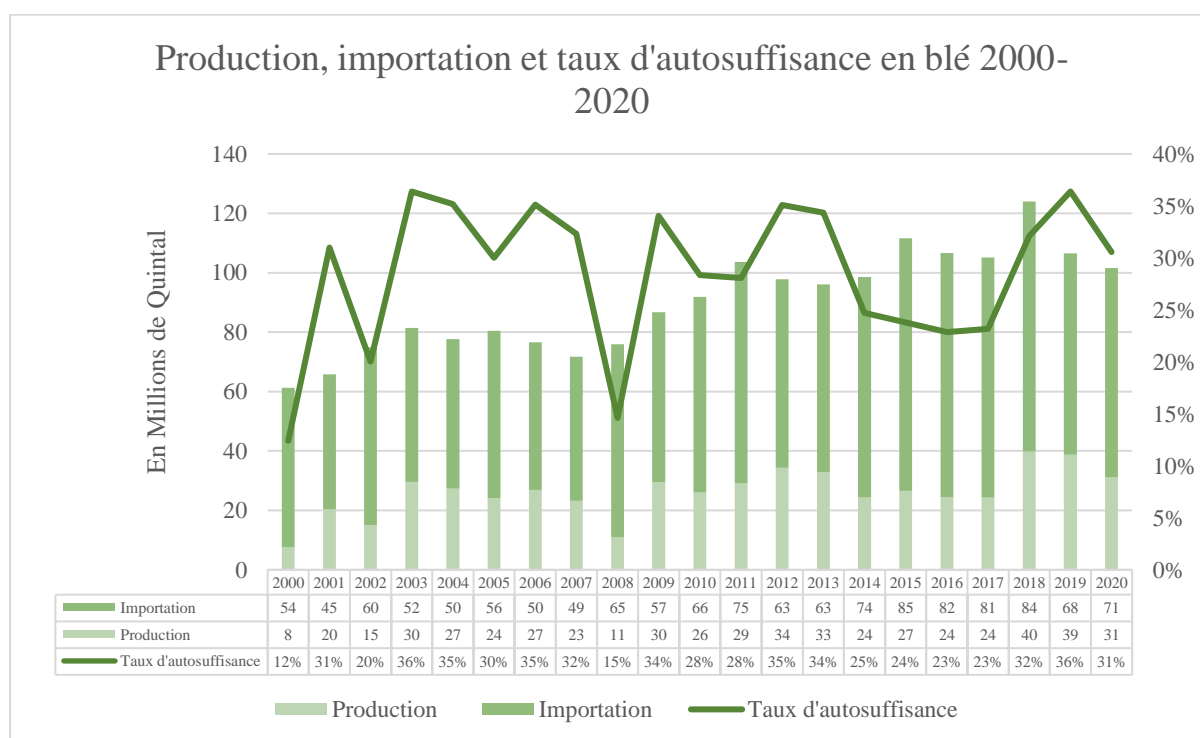
Cet instrument important de la politique céréalière de l'Etat Algérien est chargé principalement d'assurer l'ajustement entre la production nationale et les besoins de la population en céréales en veillant à l'organisation de la collecte de la production nationale des céréales et à la disponibilité permanente et suffisante. Cette mutation s'inscrit dans l'objectif de cerner l'activité de l'office à travers l'appui à la production et au conditionnement et l'approvisionnement du marché national des céréales ainsi que le stockage, transport, et la régulation du marché national en termes de prix et quantités entre production nationale et importation.

L'OAIC, c'est l'organisme central détenteur des pouvoirs d'organisation, d'approvisionnement, de contrôle et de soutien au sein de la sphère céréales. Dans ce cadre, la collecte de la production locale des céréales est une activité de la Coopérative de Céréales et de Légumes Secs (CCLS) sous la tutelle de l'Office Algérien Interprofessionnelle de Céréales (OAIC) et de ministère de l'agriculture.

## 2. Un faible taux d'autosuffisance

La production céréalière nationale demeure largement déficitaire est loin de satisfaire la demande en croissance, d'où le recours à l'approvisionnement au marché international afin de combler l'écart entre la consommation et la production nationale.

**Figure 11:** Production, importation et taux d'autosuffisance en blé 2000-2020:



**Source :** Données FAOSTAT

En 2020, les importations de blé ont totalisé 7,1 millions de tonnes, contre 3,1 millions de tonnes produite localement, L'Algérie importe en moyenne sur les 20 dernières années un peu plus de 70% de la consommation nationale.

**Tableau 3:** Evolution de l'importation des céréales en millions USD

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Importations Alimentaires en M USD	2 415	2 395	2740	2 678	3 597	3 587	3 800
portations Céréales	1 000	1 000	1 300	1 100	1 400	1 400	1 300
Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Importations Alimentaires en M USD	4 954	7 813	5 863	6 058	9 850	9 022	9 580
portations Céréales	1 900	4 000	2 300	1 900	4 000	3 200	3 300
Année	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Importations Alimentaires en M USD	11 005	9 316	8 223	8 437	8 573	8 072	7 360
portations Céréales	3 600	3 500	2 811	2 774	3 064	2 706	2 423

**Source :** Réalisé par nous-mêmes à partir des rapports CNIS, 2000 à 2020. (11mois de 2020)

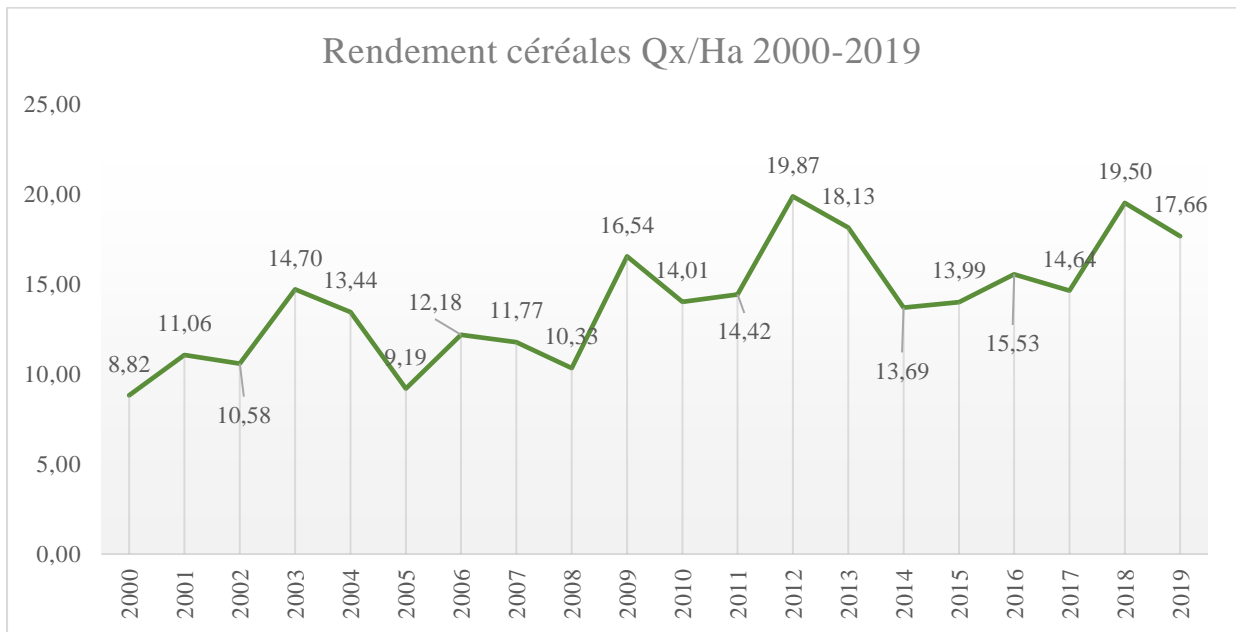
L'analyse du tableau 3 illustre clairement la place qu'occupent les céréales dans l'importation des produits alimentaires. En effet, l'Algérie demeure l'un des grands pays importateurs de céréales.

Le montant consacré pour l'importation varie entre 1 milliard en 2000 à 2,4 milliards en 2020 en passant par un pic de 4 milliards USD en 2008 et 2011. Par la suite le montant s'est stabilisé autour de 3,5 milliards en moyenne de 2012 à 2015. Enfin la facture est au-dessous de la barre de 3milliards pour l'année 2016 et pour l'année 2017. La moyenne annuelle pour la deuxième décennie est de 3,14 milliards ce qui représente une augmentation de 68% par rapport à la première décennie. Néanmoins., une facture de presque 50 milliards USD est déboursée pour les céréales durant la période compte tenu de l'ampleur de la consommation et des fluctuations des cours mondiaux.

### 3. La variabilité des rendements

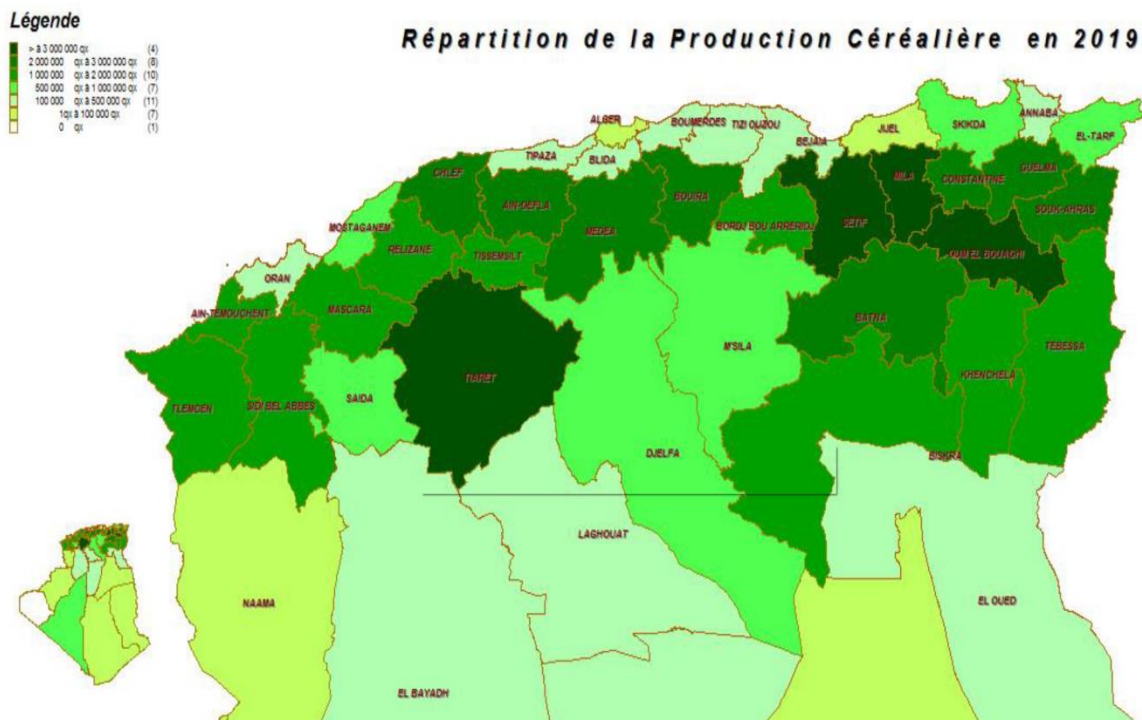
L'évolution de la production céréalière permet de mettre en évidence des fluctuations interannuelles très importantes fortement liées aux conditions climatiques. De fortes amplitudes des rendements sont observés d'après la figure 11, 7 Qx/Ha en 2003, 9,19 Qx/Ha en 2005 et 19,8 Qx/Ha en 2018 illustrent parfaitement cette variabilité.

**Figure 12:** Rendement des céréales d'hiver 2000-2019



Source : Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

**Figure 13:** Répartition des cultures herbacées



Source : Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

Le blé dur reste la céréale prépondérante selon le tableau 4, avec une part de 57 % durant l'année 2019 contre seulement 11 % de blé tendre et 29% pour l'orge du total de la production nationale.

**Tableau 4:** Répartition des céréales (superficie, production et rendement) 2018 2019

	2018			2019		
	Superficie (Ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/Ha)	Superficie (Ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/Ha)
<b>Céréales d'hiver</b>	3 106 102	60 568 040	19,5	3 185 647	56 259 902	17,7
<b>Blé dur</b>	1 492 546	31 780 207	21,3	1 579 080	32 087 678	20,3
<b>Blé tendre</b>	455 856	8 031 984	17,6	395 907	6 681 084	16,9
<b>Orge</b>	1 080 250	19 573 271	18,1	1 133 005	16 477 463	14,5
<b>Avoine</b>	77 375	1 180 178	15,3	77 626	1 013 052	13,1
<b>Grain de blé</b>	75	2 400	32	30	626	20,9

Source : Statistiques agricoles Série B 2019, Juillet 2021.

Cependant, cette variation reste très disparate. On note trois grandes zones :

- Plaines littorales, vallées du Centre et de l'Est, pluviométrie supérieure à 500 mm avec des rendements de 1 à 2 tonnes/ ha.
- Plaines et vallées intérieures, massif de Médéa et plateau de Dahra (1,5 millions d'ha , 400 mm <pluviométrie <500 mm) avec des rendements de 0,8 à 1,6 Tonnes / ha .
- Hauts plateaux de l'Ouest et de l'Est (4,5 millions ha, pluviométrie <350 mm avec des rendements de 0,5 à 1,2 tonnes/ ha.

## Conclusion

L'agriculture demeure en Algérie un secteur clé en matière de croissance économique, de sécurité alimentaire et d'équilibre des territoires.

L'examen du contexte d'évolution de la production céréalière a permis de mettre en évidence des fluctuations inter annuelles très importantes fortement liées aux conditions climatiques. Les fortes amplitudes de production observées ces dernières années. Malgré les efforts déployés en matière de développement de la céréaliculture, entre autres l'introduction de nouveaux facteurs de production et la tentative de mise en place d'une agriculture technique (intensification), la céréaliculture reste caractérisée par des variations notables liées au paramètre climatique qu'il est difficile à maîtriser. La production céréalière en Algérie est fortement dépendante des conditions climatiques. Cela se traduit d'une année à l'autre par des variations importantes de la SAU, de la production et du rendement. Ainsi, le manque de précipitations, mais aussi la mauvaise répartition des pluies pendant l'année explique en grande partie la forte variation de la production céréalière.

Malgré d'importants investissements, les performances de l'agriculture algérienne restent toutefois fortement dépendantes des pluies, compte tenu de la prédominance de l'agriculture pluviale. Les agriculteurs sont face à une situation de vulnérabilité à l'aléa pluviométrique qui risque de pérenniser face à cette situation d'absence de mesures de soutien à la gestion du risque malgré l'étude conduite par le Conseil national des assurances qui avait visé depuis la construction d'un « dispositif d'assurance des calamités agricoles (DACA) » dans le but de répondre aux préoccupations et attentes des professionnels des secteurs de l'agriculture et de l'assurance (**Voir annexe 1**).

La quasi-totalité des risques climatiques sont aujourd'hui considérés comme non assurables et devant leur fréquence élevée et l'ampleur des dommages causés aux exploitations agricoles et l'importance du secteur agricole dans la politique de l'Etat.

Les pouvoirs publics ont mis en place, début de la décennie 1990, le Fonds de Garantie contre les Calamités Agricoles le Fonds de garantie des calamités agricoles a été gelé au début des années 2000, puis réformé en 2012 avec la finalisation du projet (DACA). Ce projet expressément exclu les calamités agricoles du fait de leur spécificité, pour les prendre en charge dans un cadre approprié, mais le projet a marqué le pas depuis.

# **Chapitre II : L'assurabilité du risque sécheresse agricole**

# Chapitre 2 : L'assurabilité du risque sécheresse agricole

## Introduction

Le FGCA, qui était destiné à verser une aide aux agriculteurs, en cas de survenance d'événements non assurables et de promouvoir l'assurance contre les risques agricoles n'a pas atteint tous les objectifs qui lui étaient assignés. Après près d'une décennie d'application, le ministère de l'Agriculture a décidé de geler le fonctionnement de ce Fonds en 2000, en attendant sa refonte et la mise en place d'un dispositif adapté.

De plus, le dispositif d'assurance des catastrophes naturelles a expressément exclu les calamités agricoles du fait de leur spécificité, pour les prendre en charge dans un cadre approprié aux risques agricoles.

Face à ces deux réalités, les aléas climatiques, et principalement la sécheresse agricole sont les principaux risques et incertitudes inhérents à l'agriculture. Les sources de risques les plus fréquentes sont les conditions météorologiques et le déficit pluviométrique, qui peuvent avoir de lourdes conséquences sur les exploitations agricoles.

Ces risques sont de plus en plus aigus ces dernières années en raison des changements climatiques. Tandis que les outils de gestion de ces risques mis à disposition de l'agriculteur nécessitent des mesures de soutien effectives et étudiées de la part de l'Etat.

La gestion des risques doit être considérée comme un aspect essentiel dans le plan de développement et de résilience du secteur.

Ce chapitre s'insère dans une logique autour du processus permettant d'identifier et de comprendre le risque de la sécheresse. Les stratégies des gestions de ce risque à disposition de l'agriculteur et de voir comment un système assurantiel innovant peut se présenter comme « l'alternative » qui répond aux attentes de toutes les parties impliquées qui peut d'insérer et pourquoi pas relancer la réforme du dispositif.



## **Section 1 : Les risques agricole**

Les agriculteurs font face à une grande quantité d'incertitudes chaque jour, de ne pas savoir quel temps il fera cette année à se demander si les prix du marché augmenteront ou diminueront demain. Les producteurs agricoles sont obligés de prendre des décisions basées sur des informations imparfaites. Une vulnérabilité est donc née de cette incertitude.

Le risque peut être défini comme la possibilité de résultats défavorables en raison de l'incertitude et des connaissances imparfaites dans la prise de décision. Ainsi, la gestion des risques est devenue d'une importance vitale pour le succès des exploitations agricoles. L'objectif de cette section est d'exposer l'ampleur des risques climatiques, en particulier la sécheresse agricole dont font face les agriculteurs, à travers d'abord une classification des risques agricoles, une définition claire de la sécheresse et les méthodes de mesure de cette dernière avant de présenter les principales stratégies de gestion des risques agricoles.

### **Sous-section 1 : Classification des risques agricoles**

Le mot « risque » fait partie du vocabulaire de la vie de tous les jours : « qui ne risque rien n'a rien » ... Chacun a sa vision du risque par rapport à sa culture, le concept de risque apparaît changeant dans les discours. Dans l'agriculture, la production est truffée de risques qui peuvent affecter négativement les niveaux de production et entraîner des pertes importantes.

#### **1. Classification des risques agricoles**

A la manière d'un portefeuille d'actifs financiers, les risques agricoles étudiées dans leur ensemble présentent, selon Jean Cordier , deux composantes (Cordier 2008) :

La première est une composante propre à chaque agriculteur, qualifiée de risque idiosyncratique ou spécifique. Elle est influencée par les décisions et actions de l'agriculteur, notamment la consommation d'intrants et les techniques culturales choisies. On considèrera aussi que les évènements très localisés (grêle, maladies...) font partie des risques spécifiques. Le risque idiosyncratique est indépendant entre chaque assuré et est donc un risque mutualisable.

La seconde composante est le risque systématique ou systémique qui touche plutôt un ensemble d'agriculteur ayant une caractéristique commune comme la zone géographique ou le type de culture. Les inondations, période de sécheresses et maladies (lorsqu'elles sont étendues) sont des exemples de risques systémiques.

Ce risque est non diversifiable, ne peut donc être couvert par des mécanismes assurantiels classiques. La méthode de couverture couramment utilisée est l'ajout à la prime d'une marge de risque plus ou moins élevée selon la probabilité d'occurrence du risque. Cependant si la probabilité de survenance de risque systémique est trop élevée il devient alors difficile voire impossible de trouver un équilibre mutuellement avantageux pour l'assureur et l'assuré. Cette difficulté est essentielle pour bien comprendre les problématiques sous-jacentes à l'assurance agricole, nous reviendrons par la suite sur ce point en proposant des solutions envisageables face à cet inconvénient majeur.

Une autre classification des risques agricoles selon le même auteur. C'est la notion de risque sage et de risque sauvage (Mild and Wild Risk) introduite par Mandelbrot dans le but d'exposer la nuance existante entre les risques sauvages qui ont un fort caractère aléatoire et peuvent générer des événements extrêmes et les risques sages qui présentent un aléa faible, c'est-à-dire ne dérivant que très peu de leur moyenne.

**Tableau 5:** Classification des risques selon la probabilité d'occurrence et la perte potentielle

	<b>Probabilité d'occurrence faible</b>	<b>Probabilité d'occurrence forte</b>
<b>Perte potentielle faible</b>	Risque ne nécessitant pas de couverture	Risque sage
<b>Perte potentielle forte</b>	Risque sauvage	Risque impossible à couvrir

**Source :** Cartographie des risques de l'agriculteur (Cordier, 2008)

A partir de ces définitions, il est possible de décrire une cartographie des risques sous forme de matrice nous permettant de comprendre de quelle manière le producteur optimisera sa couverture de risque que nous allons présenter.

## **2. Les risques liés à l'entreprise agricole**

L'agriculteur à l'image d'un chef d'entreprise est extrêmement conscient de ces incertitudes, puisque c'est elle qui définira son revenu. Mal anticiper celle-ci, pourra avoir de graves conséquences. Ainsi une meilleure compréhension de ces risques lui permet de pérenniser son exploitation et de réduire la volatilité de ses revenus. Avant d'étudier les différents mécanismes de protection il est important de comprendre et analyser les risques auxquels l'agriculteur doit faire face (Cordier 2008):

- **Le risque production ou rendement**

Souvent considéré comme le risque le plus important pour l'agriculteur, il représente l'aléa sur la quantité produite. Chaque culture est soumise à sa manière à un très grand nombre d'évènements qui influent sur la production.

Les aléas météorologiques sont en grande partie responsables des écarts à la moyenne constatée. Les inondations, sécheresses et autres phénomènes climatiques moindres, sont de plus en plus fréquents et impactent fortement les rendements. Ces phénomènes présentent un fort risque systémique, car ils se produisent généralement sur des zones relativement étendues. Il existe aussi des phénomènes plus localisés comme la grêle, les maladies ou même les insectes qui peuvent aussi réduire drastiquement la production.

- **Le risque qualité**

Lors de la vente de leur production ou simplement de la contractualisation de celle-ci, les agriculteurs se voient généralement imposer des critères quant à la qualité de leur récolte. Les récoltes sont chacune différentes d'un point de vue quantitatif mais aussi qualitatif. Ici aussi les conditions climatiques et les maladies en sont les causes principales.

- **Le risque prix**

Ce risque résume l'incertitude que rencontre l'agriculteur lorsqu'il entame une nouvelle saison sur le prix au moment de la récolte. Il est très difficile pour lui d'estimer en amont le prix de vente de sa production en raison de la complexité des paramètres intervenants dans le calcul.

- **Le risque coût de production**

Une autre source d'incertitude réside dans les coûts de production, c'est-à-dire l'ensemble des charges opérationnelles et de structures nécessaires pour une saison complète. La variabilité de ce risque est majoritairement intégrée dans le coût des intrants nécessaires à la production (engrais, pesticides, insecticides) et le prix des semis. La volatilité du cours du pétrole est elle aussi à prendre en compte en raison de l'importante utilisation d'essence pour les tracteurs et autres machines.

## **Sous-section 2 : Les spécificités des risques climatiques**

Un risque se caractérise mathématiquement par sa probabilité d'apparition et celle-ci n'existe que si les événements auxquels elle se rapporte sont aléatoires, susceptibles de répétition, indépendants.

Selon (Brossier 1989), cette définition ne s'applique guère aux risques agricoles tels que, par exemple, les risques climatiques pour la production végétale. Les événements « chutes de pluie », qui peuvent entraîner la sécheresse, ne sont ni aléatoires, ni indépendants. Ils obéissent en effet, à un déterminisme en partie connu : formation de vapeur d'eau par évaporation et transpiration, transfert de cette vapeur d'eau vers des zones plus froides de l'atmosphère où en présence de noyaux de condensation elle forme des gouttes d'eau grossissantes dont le poids finit par provoquer la chute, la « précipitation » vers le sol.

En fait soit parce qu'on ne connaît pas de façon suffisamment précise les rouages complexes de ce déterminisme, soit parce qu'on ne se donne pas les moyens de mesurer les nombreux variables et paramètres des modèles déterministes existant, on se trouve finalement confronté à des événements incertains, en grande partie imprévisibles. On a souvent tendance à qualifier d'aléatoire un événement qui obéit en fait à un déterminisme inconnu ou mal connu.

Les risques climatiques sont rarement idiosyncratiques, c'est à dire que de nombreux agents y sont affectés en même temps subissant à la fois des pertes en qualité et en quantité. Ces risques comprennent en premier lieux les conditions climatiques défavorables, qu'il est, compte tenu de la grande variété et de la complexité des climats mondiaux, il est difficile de généraliser lorsqu'on parle de risques liés aux conditions météorologiques.

Comme le montre le tableau, il existe deux principaux types de risques à considérer. Ceux-ci concernent des événements soudains et imprévus (par exemple, des tempêtes ou de fortes pluies) et des événements cumulatifs qui se produisent sur une période prolongée, les impacts de l'un ou l'autre de ces types de risque varient considérablement selon le type de culture, la variété et le moment où ils se produisent.

**Tableau 6:** Aléas climatiques et spécificités

<b>Aléa climatique</b>	<b>Spécificités</b>
<b>Déficit pluviométrique</b>	Variétés adaptées aux précipitations moyennes et au bilan hydrique L'agriculture pluviale prédomine au niveau mondial Annuelle ou pluriannuelle Risque clé pour le rendement agricole
<b>Précipitations excessives et inondations</b>	Causant des dommages directs et des impacts indirects Inondations fluviales, soudaines, côtières Gestion des bassins versants, drainage, irrigation ont un impact sur les inondations
<b>Températures élevées</b>	Impact sur l'évapotranspiration et lié à la sécheresse Saisonnalité et vulnérabilité aux stades de culture
<b>Basses températures</b>	Températures basses à court terme, dommages en début et en fin de saison Gel (hiver) Degrés-jours croissants (manque de chaleur pendant la saison)
<b>Vent</b>	Événements cycloniques violents (ouragan ou typhon) Tempête frontale Tempête et tornade locales
<b>Grêle</b>	Localisé, mais peut être sévère

**Source :** weather index insurance for agriculture, Agriculture and Rural Development (ARD)

Les impacts d'un événement météorologique donné diffèrent selon le système agricole spécifique, Pour le risque de la sécheresse, le déficit pluviométrique et les hautes températures qui influe sur l'évapotranspiration sont des éléments à en tenir compte. De plus, les impacts négatifs de cet événement météorologiques peuvent être aggravés par une mauvaise infrastructure (comme un mauvais âge du drainage), le type de sol et de culture, et la disponibilité d'autres outils de gestion des risques (tels que l'irrigation).

### **Sous-section 3 : La sécheresse agricole, concepts et indices de mesures**

La sécheresse est à la fois un souci majeur dans un grand nombre de pays en développement, et elle est l'événement météorologique qui pose les plus gros problèmes aux assureurs. Les raisons de cet état de fait sont nombreuses. D'abord, les assureurs sont davantage confiants quand un événement à risque est clairement défini relativement au temps et à sa situation géographique.

#### **1. Concepts et définitions**

Wilhite et Glantz décrivent la sécheresse de manière conceptuelle (comme une idée ou un concept) et opérationnelle (par la façon dont la sécheresse fonctionne ou se fait de manière à pouvoir être mesurée). Mais d'une façon générale, la sécheresse peut être définie comme étant une période prolongée de précipitations insuffisantes, pendant une ou plusieurs saisons ou même des années, causant un déficit d'eau dans certains secteurs de l'économie d'un pays (OSS 2013)

Ces mêmes auteurs (Donald, Wilhite et Glantz 1985) ont illustré quatre grands types de sécheresse : météorologique, hydrologique, agricole et socio-économique.

- **La sécheresse météorologique**

La sécheresse météorologique est basée sur le degré d'aridité d'une période sèche par rapport à la normale (médiane ou moyenne) et sur la durée de cette période sèche. Elle se caractérise par l'absence des pluies dans une région donnée sur une période déterminée. Elle est souvent définie, pour une zone caractérisée par des pluies saisonnières, par la mesure de la déviation des précipitations cumulées sur une période donnée par rapport à la normale de cette période calculée sur au moins 30 ans. Dans les régions où la pluie est reçue toute l'année, la définition de la sécheresse est basée sur le nombre de jours où les précipitations sont inférieures à un niveau critique donné.

- **La sécheresse hydrologique**

La sécheresse hydrologique est associée aux effets des périodes de précipitations. La sécheresse météorologique, si elle est prolongée entraîne une sécheresse hydrologique. Il faut plus de temps pour que les précipitations insuffisantes apparaissent dans les composants du système hydrologique tels que l'humidité du sol, le débit des cours d'eau et les recharges des

nappes phréatiques avec un épuisement marqué des eaux de surface et un assèchement des masses d'eaux intérieures telles que les lacs, les barrages, etc. La fréquence et la gravité de la sécheresse hydrologique sont souvent définies à l'échelle d'un bassin versant ou d'un bassin hydrographique. Par conséquent, ces impacts sont déphasés de ceux des autres secteurs économiques.

- **La sécheresse agricole**

La sécheresse agricole associe diverses caractéristiques de la sécheresse météorologique (ou hydrologique) à des incidences sur l'agriculture notamment les pénuries de précipitations, les différences entre l'évapotranspiration réelle et potentielle, les déficits en eau du sol, la réduction des niveaux d'eau souterraine ou de réservoir, etc.

La demande en eau des plantes dépend des conditions météorologiques, des caractéristiques biologiques de la plante, de son stade de croissance et des propriétés physiques et biologiques du sol.

Une bonne définition de la sécheresse agricole devrait pouvoir prendre en compte la sensibilité variable des cultures au cours des différents stades de développement des cultures, de la levée à la maturité. Une humidité insuffisante de la couche arable lors de la plantation peut nuire à la germination, entraînant une faible population de plantes par hectare et une réduction du rendement final.

- **La Sécheresse socio-économique**

Elle apparaît lorsque l'insuffisance en eau commence à affecter les gens et leurs vies. Elle associe les biens économiques et les éléments des sécheresses météorologique, agricole et hydrologique.

La sécheresse socioéconomique se manifeste lorsque l'offre d'un bien économique ou d'une denrée (ex : forage, énergie hydro-électrique...) ne peut plus satisfaire la demande de ce produit et que la cause de ce déficit est liée au climat, et singulièrement au manque de précipitations.

## 2. Indices de mesures

Il est important de préciser ce que l'on entend par indicateurs et par indices de sécheresse (OMM, 2016). Selon le manuel des indicateurs et des indices de sécheresse de l'OMM, les indicateurs sont des variables ou des paramètres qui servent à décrire les conditions de sécheresse. Citons, par exemple, les précipitations, la température, l'écoulement fluvial, le niveau des nappes et des réservoirs, l'humidité du sol et le manteau neigeux.

Les indices sont le plus souvent des représentations numériques de l'intensité des sécheresses, que l'on calcule à partir de valeurs climatiques ou hydrométéorologiques, dont les indicateurs précités.

Un indice de sécheresse mesure l'état qualitatif d'une sécheresse à un emplacement donné pour une période donnée à diverses échelles temporelles.

L'indice SPI (Standard Precipitation Index) est plus populaire en raison du moins d'exigences en matière de données. La large utilisation de SPI au cours des dernières décennies a déjà établi ses seuils pour la caractérisation de la sécheresse.

La méthode utilisée pour le calcul du SPI a été développée par Thomas B. McKee et ses collègues de la Colorado State University en 1993 dans le but d'améliorer la détection de la sécheresse, la capacité de surveillance et la quantification du déficit des précipitations sur la base de la probabilité des précipitations sur plusieurs échelles de temps.

Il reflète l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eaux (eaux souterraines, stockage dans les réservoirs, humidité du sol, manteau neigeux et débit des cours d'eau) en se basant sur un historique des précipitations de longue durée.

Le SPI d'un lieu donné pour une période choisie à partir des relevés à long terme des précipitations est calculé en ajustant une fonction de densité de probabilité appropriée à la distribution de fréquence des précipitations additionnée sur l'échelle de temps considérée (généralement 3, 6, 12 et 24 mois). Ceci est effectué séparément pour chaque échelle de temps et pour chaque emplacement dans l'espace.

La série de données de longue durée est ajustée à une distribution Log-normale ou Gamma que l'on transforme ensuite en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen



du lieu considéré et pour le laps de temps étudié soit égal à zéro. Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives indiquent des précipitations inférieures à celle-ci.

La distribution log-normale est asymétriquement positive et non négative. Elle a l'avantage de la simplicité puisqu'il ne s'agit que d'une transformation logarithmique des données c'est-à-dire  $y = \ln(x)$  (pour  $x > 0$ ), en supposant que les données transformées résultantes sont décrites par une distribution gaussienne. En ajustant la distribution log-normale à la moyenne de l'échantillon et à la variance des données transformées logarithmiques  $\mu_y$  et  $\sigma_y^2$ , le SPI devient :

$$SPI = Z = \frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y}$$

$x$  : Précipitation totale d'une période (mm),

$\mu_y$  : Précipitation moyenne historique de la période (mm),

$\sigma_y$  : Écart-type historique des précipitations de la période (mm).

L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation : il permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et évaluer leur gravité, mais pour caractériser et identifier la sécheresse agricole. Il est important de tenir compte de bilan hydrique du sol. C'est dans ce sens que l'indice de détection de la sécheresse RDI (Reconnaissance Drought Index) a été développé par (Tsakiris et Vangelis 2005) à l'Université technique nationale d'Athènes pour aborder le déficit en eau de manière plus précise, comme une sorte d'équilibre entre entrée et sortie dans un système d'approvisionnement en eau.

Cette méthode est basée sur le rapport entre deux quantités agrégées de précipitation et d'évapotranspiration dont le rôle dans la détection des épisodes de sécheresse agricole a été justifiée.

## ❖ Méthode de calcul de RDI

Cet indice peut être formulé sous des formes alpha ( $\alpha_k$ ), normalisée ( $RDI_n$ ) et standard ( $RDI_{st}$ ).

La valeur initiale ( $\alpha_k$ ) du RDI est calculée pour la  $i^{\text{ème}}$  année sur une base de temps de k (mois) comme suit :

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}$$

$P_{ij}$  : Les précipitations du  $j^{\text{ème}}$  mois de la  $i^{\text{ème}}$  année.

$PET_{ij}$  : L'évapotranspiration potentielle du  $j^{\text{ème}}$  mois de la  $i^{\text{ème}}$  année.

$k$  : le nombre total d'années des données disponibles.

Les valeurs de ( $\alpha_k$ ) correspondent à la fois aux distributions gamma et log-normale dans diverses positions et à différentes échelles de temps pour lesquelles elles ont été examinées. Le RDI normalisé ( $RDI_n$ ) est calculé pour chaque année comme suit :

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_k}{\overline{\alpha_k}} - 1$$

Où :

$\overline{\alpha_k}$  : Moyenne arithmétique de k values.

Le ( $RDI_{st}$ ) peut être utilisé pour les évaluations de la gravité de la sécheresse. La forme standardisée de cet indice est calculée en ajustant une fonction de densité de probabilité log-normale à la distribution de fréquence donnée de ( $\alpha_k$ ).

La formule du ( $RDI_{st}$ ) est la suivante :

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y}$$

Où :

$y^{(i)}$  : est le  $\ln(\alpha_k(i))$

$\bar{y}$ : est sa moyenne arithmétique,

$\hat{\sigma}_y$  : écart-type.

Des recherches approfondies sur diverses données provenant de plusieurs sites et à différentes échelles de temps (3, 6, 9 et 12 mois) ont permis de conclure que les valeurs de  $\alpha_k$  suivent de manière satisfaisante les distributions log-normales et gamma dans presque tous les emplacements et à toutes les échelles de temps, mais dans la plupart des cas, la distribution gamma a eu plus de succès.

Par conséquent, le calcul du ( $RDI_{st}$ ) pourrait être mieux effectué en ajustant la fonction de densité de probabilité gamma à la distribution de fréquence donnée de ( $\alpha_k$ ).

La sévérité des épisodes de sécheresse augmente lorsque les valeurs ( $RDI_{st}$ ) deviennent fortement négatives. La gravité de la sécheresse peut être classée en catégories légère, modérée, sévère et extrême, avec des valeurs limites correspondantes de ( $RDI_{st}$ ) , respectivement (-0,5 à -1,0), (-1,0 à -1,5), (-1,5 à -2,0) et (< -2,0).

La classification retenue pour l'appréciation du degré de sécheresse selon les valeurs du RDI est donnée par les mêmes auteurs (Tsakiris et Vangelis 2005) dans le tableau suivant :

**Tableau 7:**Classification de l'indice RDI

State	Description	<i>RDI</i> criterion
1	mild drought	(-0.5) – (-1.0)
2	moderate drought	(-1.0) – (-1.5)
3	severe drought	(-1.5) – (-2.0)
4	extreme drought	< -2.0 and below

Source: TIGKAS *et al.* [2013].

Grâce à l'intégration de l'évapotranspiration potentielle, le bilan hydrique global de la région est mieux représenté que dans le SPI, ce qui donne une meilleure idée de l'intensité de la sécheresse agricole. Le RDI peut être calculé pour toute période incluant plusieurs mois d'une année hydrologique, bien que les périodes de référence de (3, 6,9 et 12 mois) sont les plus courantes.

## **Section 2 : Outils de gestion des risques climatiques**

L'agriculture dépend de phénomènes naturels aléatoires comme la sécheresse. L'objectif de la gestion du risque pour l'agriculteur consiste à modifier le niveau d'exposition au risque de son entreprise afin de le porter à un niveau acceptable. Dans ce qui suit, il s'agit d'abord de prendre conscience et d'évaluer un risque, la question suivante est de savoir traiter les éléments relatifs aux outils de gestion des risques à l'échelle de l'entreprise agricole aux gouvernements en passant par la communauté et le marché.

### **Sous-Section 1 : Mécanismes et stratégies de gestion du risque sécheresse**

De nombreux mécanismes sont disponibles pour aider les agriculteurs à gérer les risques à travers des outils dépendent de la situation individuelle de son exploitation et de sa volonté et de sa capacité à prendre des risques. Ces risques dépendent en partie de la gravité d'un risque donné. Par conséquent, les outils réels qui sont disponibles ou utilisés par les différentes parties prenantes ont tendance à différer. Dans le tableau, quelques exemples des différents outils selon la gravité et la partie prenante sont fournis (WB 2011).

**Tableau 8:**Mécanismes de gestion du risques sécheresse

<b>Mécanismes de gestion du risque sécheresse</b>			
<b>Gravité</b>	<b>Ménage/Communauté</b>	<b>Marché</b>	<b>Etat</b>
<b>Pas spécifiée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Métayage</li> <li>· Groupes d'entraide d'agriculteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nouvelle technologie</li> <li>· Semences améliorées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Gestion des ressources en eau</li> <li>· Infrastructure d'irrigation</li> <li>· Vulgarisation</li> <li>· Recherche agricole</li> <li>· Systèmes de données météorologiques</li> </ul>
<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Diversification des cultures</li> <li>· Épargne en bétail</li> <li>· Stocks de sécurité alimentaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Épargne formelle</li> </ul>	
<b>Modérée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Diversification de la main-d'œuvre</li> <li>· Mutualisation des risques (pairs, membres de la famille)</li> <li>· Prêteurs d'argent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Prêts formels Partage des risques (fournisseurs d'intrants, grossistes)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Prêts parrainés par l'État</li> </ul>
<b>Élevée/ Catastrophique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Vente d'actifs</li> <li>· Migration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Assurance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Secours en cas de catastrophe</li> <li>· Assurance parrainée par l'État</li> </ul>

**Source:** weather index insurance for agriculture, Agriculture and Rural Development (ARD)

Comprendre quels outils le producteur agricole peut utiliser pour atténuer l'impact du risque est la première étape dans la gestion des risques agricoles. Les outils modernes peuvent être mis à contribution par les producteurs eux-mêmes ou avec l'aide et l'implication de la communauté (les organisations des producteurs et les services de vulgarisation) et le gouvernement.

Avant de présenter les différentes stratégies, il est primordial de tenir compte de la prévention, grâce à différentes techniques agricoles qui permettent d'être moins dépendant des conditions climatiques (Irrigation et drainage, utilisation de variétés adaptées à l'environnement local, lutte contre l'érosion des terres, etc...)

Il y a plusieurs manières de conduire un processus de gestion des risques agricoles. Les stratégies et les outils appropriés à utiliser dépendent du type de risque en présence, de la perception des producteurs et des autorités.

Une compréhension des outils disponibles pour gérer les risques de production peut aider les producteurs agricoles à réduire ces risques et augmenter la rentabilité. Parmi ces stratégies conditionnées par possibilité d'accéder à des solutions modernes, comme les

pratiques de l'agriculture intelligente, les stratégies basées sur les actifs et les revenus, la diversification des produits agricoles ou des outils innovants de financement des risques reposant sur le principe du partage des risques, dont l'assurance sont à la portée des agriculteurs et des gouvernements (Sanoussi, Ahmadou et Ilaria 2019):

- **Disposer des capacités financières pour résister ;**

La fonction de production agricole limite la capacité normale des agriculteurs à créer ou à maintenir un niveau adéquat. La première méthode de gestion du risque est de disposer de réserves financières et de capacité d'emprunt afin d'absorber les mauvais résultats économiques. L'État peut favoriser le financement, mais la capacité d'emprunt qui dépend du taux d'endettement de l'entreprise agricole est limité par la variabilité des rendements et donc des résultats.

- **Diversifier ses productions ou sa commercialisation ;**

La seconde méthode de gestion du risque consiste à le diversifier. Il s'agit d'organiser un portefeuille d'activités ou de procédures qui permettent des compensations de pertes et de bénéfices. Le dicton populaire « ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier » illustre parfaitement la méthode de diversification.

Concrètement, les risques climatiques ne permettent pas que la diversification soit la bonne stratégie pour l'entreprise agricole. Celle-ci ne peut se diversifier mais au contraire se spécialise pour réduire ses coûts de production face au risque.

- **Acheter une couverture auprès d'une société d'assurance ;**

Enfin, la troisième méthode de gestion des risques consiste à faire appel aux sociétés d'assurance spécialisées sur le risque concerné. L'efficacité de ce marché apparaît historiquement indispensable au développement économique.

L'assurance est un mécanisme de transfert de risque qui garantit une compensation complète ou partielle de la production et / ou des pertes de revenus causées par un ou des événements indépendants de la volonté de l'assuré.

Il convient tout d'abord de noter que la gestion des risques doit être planifiée ex-ante (c'est-à-dire avant la réalisation d'un événement).

L'assurance agricole engage des agriculteurs individuels comme titulaires de polices d'assurance, le contrat leur permettant de se protéger contre leurs propres risques en vertu de ce contrat, une partie (l'assureur) indemnise l'assuré (un agriculteur) contre un montant de perte si un sinistre se produit dans une période déterminée.

La gestion des risques réalisés sur une base ex post uniquement n'est pas considérée comme de la gestion des risques - après tout, si quelque chose s'est déjà produit, ce n'est plus un risque (bien qu'une récurrence future puisse l'être).

## **Sous-Section 2 : Les programmes classiques d'assurance récolte**

Le principe de l'assurance indemnitaire porte sur les dommages causés sur les biens ou les dommages corporels. Il s'agit d'un fondement de base de l'assurance, qui consiste à ce qu'en cas de dommage matériel ou corporel subi par l'assuré, elle indemnise la victime :

- En fonction du préjudice subi
- Dans les limites des garanties souscrites
- Avec une expertise bien particulière selon la nature du sous-jacent
- Sans contribuer à l'enrichissement de l'assuré

La notion de perte est donc cruciale car elle permet de définir l'indemnité versée par l'assureur à l'assuré. La perte est égale à la valeur du sinistre, le sinistre étant lui-même lié à la réalisation d'un événement néfaste. On définit la probabilité d'occurrence de l'événement néfaste. Ainsi, dans le monde de l'assurance, le risque s'analyse à travers la probabilité d'occurrence d'un événement néfaste et la perte occasionnée par l'événement.

Ces programmes d'assurance-récoltes réunissent de loin l'ensemble de l'assurance récoltes souscrite dans le monde. L'assurance indemnitaire est le type de contrat le plus courant dans le secteur de l'assurance. Dans ces contrats, l'assuré et l'assureur définissent l'étendu des biens couverts et les garanties associées au préalable. Lors d'un sinistre, une expertise est généralement nécessaire pour constater le montant de la perte. A noter aussi que les assurances de type indemnitaires couvrent uniquement des risques mutualisables. Nous distinguerons trois catégories d'assurance classiques (Roberts 2005) :

## **1. Assurance basée sur les dommages ou “Assurance périls nommés”**

L'assurance péril nommé protège l'agriculteur face à un ou plusieurs risques explicitement mentionnés dans le contrat. Avec la définition au préalable du pourcentage des dommages encourus et le montant de la franchise si celle-ci existe. C'est l'un des contrats les plus communs dans le monde et permet à l'agriculteur de se couvrir face à des risques tels que la grêle, les incendies ou encore les inondations.

Ce type d'assurance-récoltes représente encore une part considérable de l'assurance récoltes dans le monde. Les particularités des dégâts occasionnés par ces risques sont basées sur la mesure des dégâts réels causés. Ce qui donne à ce type de contrat les caractéristiques suivantes :

- Les dommages causés par le sinistre sont localisés ;
- Le faible coefficient de corrélation du risque sur une superficie donnée ;
- Le capital assuré est convenu quand la police est achetée ;
- L'expertise du sinistre et l'indemnité éventuelle sont basées sur l'évaluation du pourcentage des dommages après le sinistre ;
- Ce type d'assurance ne convient pas aux risques qui produisent un impact à grande échelle, à savoir la sécheresse, les animaux nuisibles, les maladies.

## **2. Assurance basée sur le rendement ou “Assurance multirisques”**

L'assurance multirisques couvre l'agriculteur contre un certain nombre d'événements pouvant diminuer sa production. Le préalable est de définir la valeur garantie de rendement ainsi que les différentes exclusions de garantie. Il est nécessaire de connaître une partie de l'historique de rendement de l'agriculteur afin d'estimer le montant de la prime. Ces contrats offrent à l'agriculteur une couverture importante mais à un prix plus élevé.

Parmi les caractéristiques de ce type d'assurance, figure le fait que l'assurance est basée sur le niveau du rendement escompté, plutôt que sur les dommages mesurés après un sinistre précis. Leurs autres caractéristiques sont :

- Les polices d'assurance multirisques conviennent aux risques pour lesquels il est difficile de mesurer la contribution individuelle dans un sinistre ;



- Dans le même ordre d'idée, les polices basées sur le rendement conviennent aux risques dont l'impact se prolonge dans le temps ;
- Les antécédents de rendement de l'agriculteur fournissent la base qui permet de déterminer le pourcentage du manque à gagner après le sinistre ;
- Le rendement est mesuré au moment de la récolte ; le rendement assuré est généralement compris dans la fourchette de 50 à 70 pour cent de la moyenne des rendements antérieurs.
- Le manque à gagner pourrait être déterminé sur la base d'une zone ou individuellement pour chaque agriculteur.

### **3. Assurance Revenu-récolte ou 'Assurance Chiffre d'affaires'**

L'approche de l'assurance revenu-récolte s'inscrit dans une nouvelle tendance des assurances agricoles. Celle de définir l'intérêt assurable comme un flux de revenu plutôt que comme la valeur intrinsèque (valeur prévue) de la matière biologique menacée. Ce type d'assurance s'est développé ces dernières années afin de protéger les producteurs face au caractère volatile des prix en plus des couvertures classiques. L'assurance chiffre d'affaires assure à l'agriculteur comme son nom l'indique un chiffre d'affaires plancher tandis que l'assurance revenu offrira la même garantie mais sur l'indice revenu, c'est-à-dire le chiffre d'affaires auquel on soustrait l'ensemble des coûts de production. Il faut dans ce cas aussi connaître un minimum d'historique de l'agriculteur.

## **Sous-section 3 : Les limites de l'assurance classique**

Les asymétries d'informations ont souvent été évoquées comme les principales contraintes qui limitent l'assurabilité des risques sur récoltes. Les coûts d'acquisition d'information ou d'expertises pour contrer les assurés sont prohibitifs et empêchaient alors les assureurs de proposer des garanties à un prix acceptables pour les agriculteurs. Selon le cas, on distingue l'aléa moral et l'antisélection (la sélection adverse).

### **1. L'antisélection**

L'assureur à la signature d'un contrat ne connaît pas précisément le risque de l'assuré, ainsi l'assureur sera tenté d'augmenter les prix de tous les assurés pour se couvrir face aux individus présentant le plus de risque. Ce qui nous amène dans une situation où seuls les mauvais risques" s'assurent car il n'y a que pour eux que le prix de la prime est juste.

Le phénomène d'antisélection provient d'une corrélation imparfaite entre les caractéristiques observables des assurés (critères de tarification utilisés) et l'intensité de leurs risques (sinistralité enregistrée)

L'assureur calcule le taux de prime sur la base de la distribution moyenne de la population hétérogène.

Les agriculteurs les plus exposés aux risques souscrivent une couverture plus importante que les agriculteurs les moins exposés aux risques ce qui conduit inévitablement à un déséquilibre technique.

L'assureur est obligé, dans ce cas, d'augmenter le taux de prime pour équilibrer ses résultats incitant alors les agriculteurs les moins exposés aux risques à ne plus s'assurer ce qui aggrave le déséquilibre.

Ainsi l'antisélection ou sélection adverse désigne une situation où assureur et assuré ne détiennent pas les mêmes informations, généralement c'est l'assureur qui ne connaît pas l'ensemble des informations relatives à l'assuré. On parle donc d'asymétrie d'informations.

Pour revenir au cas de l'assurance agricole et l'exemple des Etats-Unis abordés dans l'introduction, dans les années 80. Le FCIC (Fédéral Crop Insurance Corporation) avait supposé à tort que la variance des rendements était proportionnelle à leur moyenne et ainsi la connaissance de l'espérance du rendement semblait suffire au calcul de la prime. Rapidement seuls les agriculteurs ayant une volatilité de production importante souscrivaient à une assurance et les assureurs se retrouvèrent donc avec des ratios sinistres sur primes pharamineux (Mahul 1998).

## **2. L'aléa moral**

L'aléa moral est la situation dans laquelle l'assuré peut cacher des actions d'autoprotection à l'assureur à cause de l'existence de la couverture de l'assurance. Plus l'aléa moral est plus élevé plus l'assuré sera tenté de modifier intentionnellement ou non, son comportement du fait qu'il ne soit totalement exposé au risque car il est couvert. Nous sommes ici aussi dans le cas d'une asymétrie d'informations. Cela pose un réel problème pour l'assureur qui peut difficilement contrôler ce changement de comportement car il lui est

impossible de connaître tous les agissements de son assuré avant et durant le contrat. Olivier Mahul distingue de ce fait deux types d'aléa moral (Mahul 1998):

- L'aléa moral ex-ante qui se traduit souvent par le non-respect de conduites culturelles appliquées lorsqu'il n'y a pas de couverture d'assurances. Ce comportement se produit avant la réalisation du sinistre et a pour conséquence la modification de la distribution des rendements l'agriculteur modifie la distribution de ses rendements, par exemple en diminuant sa consommation d'intrants. La souscription à un contrat d'assurance réduirait l'utilisation de l'ensemble des facteurs de production.
- L'aléa moral ex-post qui est lié au risque de fraude après réalisation du sinistre, c'est-à-dire, l'incapacité de l'assureur d'observer parfaitement les dommages subis par l'agriculteur à la suite de manœuvres frauduleuses de l'assuré. Par exemple, les négligences de l'assuré à la suite d'un sinistre qui lui permettent d'être indemnisé sur la base d'un rendement inférieur à celui qu'il aurait pu obtenir en exécutant correctement certains travaux à caractères préventifs. Ces négligences ne peuvent être connues par les assureurs.

Il existe plusieurs solutions permettant de réduire le risque d'aléa moral. Les franchises représentent un premier élément de réponse, en effet l'assuré conscient qu'il devra payer une partie du sinistre de sa poche sera en général plus précautionneux. Une seconde solution est la mise en place d'expertises plus poussées ainsi qu'un niveau d'effort minimal, niveau d'effort qui peut se traduire en agriculture par la contractualisation de méthode culturale et de consommation d'intrants.

### **3. Corrélation des risques individuels**

Les risques agricoles peuvent aller d'indépendants (par exemple, des pertes de grêle localisées ou la maladie d'un agriculteur individuel), à fortement corrélés (par exemple, un risque de prix du marché ou une sécheresse généralisée). La gestion du risque sécheresse dans l'agriculture est particulièrement difficile.

La sécheresse s'installe lentement, ses effets traînent en longueur, et peuvent durer plus longtemps qu'une saison culturale. Qui plus est, elle produit généralement son impact sur une vaste superficie de terres.

La distinction entre risques spécifiques et risques systématiques exposée au début du chapitre est liée à la taille de l'espace de mutualisation. La sécheresse est un risque systématique : Il affecte simultanément un grand nombre d'exploitants agricoles.

Il est à l'origine de la corrélation des rendements individuels des agriculteurs. Il ne peut être éliminé par les assureurs en recourant aux mécanismes de mutualisation des risques. Ce risque non diversifiable pousse l'assureur à augmenter la prime d'assurance qui peut devenir si élevée à un point où il n'aura pas de demande d'assurance et le risque deviendra alors non assurable. C'est ce risque qui est considéré comme l'obstacle majeur à l'assurabilité des risques agricoles. Par exemple, le risque sécheresse en Algérie est non assurable alors qu'il peut devenir diversifiable (spécifique) et donc assurable à l'échelle mondiale par le biais de la réassurance internationale.

#### **4. Ampleur du risque**

Du point de vue de la souscription proprement dite, la sécheresse crée de graves difficultés à l'assureur qui offre ce qui est en fait une garantie de rendement (Roberts 2005).

En premier lieu, étant donné que la sécheresse touche un nombre considérable de cultivateurs pendant la même saison – peut-être un pays tout entier les pertes de la production sont très élevées. En raison du caractère systémique ou catastrophique de cette exposition, il est difficile de mobiliser une capacité d'assurance suffisante pour couvrir la somme des risques, même en ayant recours à une réassurance substantielle.

En second lieu, les périodes de sécheresse des dernières années, au moins dans une grande partie de l'Afrique, ont eu tendance à se prolonger sur plus d'une année. Cette constatation signifie qu'il est extrêmement difficile pour les compagnies d'assurance d'obtenir des réassurances pour les portefeuilles d'assurance-récoltes qui couvrent le risque lié à la sécheresse.

En troisième lieu, l'ampleur du risque dans les pays en développement est telle que les primes calculées par voie actuarielle seraient très élevées trop élevées sans doute pour attirer l'ensemble des cultivateurs à part les plus exposés. Aucun assureur n'est prêt à constituer un portefeuille sur la base unique de ce type de clientèle.

Pour ces raisons, les assureurs hésitent considérablement à couvrir la sécheresse dans le cadre des polices d'assurance-récoltes classiques. C'est notamment le cas dans les parties du monde en développement où la sécheresse est la principale contrainte météorologique à la production agricole.

Compte tenu de ses problèmes quasiment insurmontable d'intégrer la sécheresse aux polices d'assurance-récoltes classiques dans les pays en développement, l'attention s'est tournée dans les dernières années vers l'assurance indicielle.

### **Section 3 : Solution indicielle pour l'assurance sécheresse**

L'assurance indicielle semble apparaître ces dernières années comme une réponse aux interrogations des agriculteurs. Ce type d'assurance est une approche relativement innovante dans le domaine de l'assurance qui indemnise les pertes d'actifs de l'agriculteur ou la baisse de fonds de roulement essentiellement sur la base d'un indice prédéterminé.

Pour se couvrir contre un aléa climatique, l'agriculteur paie une prime et attend une indemnisation qui n'est pas fonction des pertes réalisées mais fonction de l'évolution de l'indice. Cette technique présente l'avantage de n'engendrer aucune asymétrie d'informations, l'antisélection comme l'aléa moral sont dès lors supprimés.

#### **Sous-section 1 : Fonctionnement de l'assurance indicielle**

Les origines de l'assurance climatique indicielle proviennent du marché international des dérivés météorologiques, où les grandes entreprises couvrent les risques météorologiques. L'intérêt de l'assurance indicielle pour l'agriculture est né de la conviction que les produits d'assurance traditionnels n'étaient pas viables pour les pays en développement.

##### **1. Définition et caractéristiques**

L'assurance indicielle a été développée en raison des limites de l'assurance classique présentés précédemment dans le chapitre (Asymétrie d'information, corrélation des risques individuels et ampleur).

Le principe de l'assurance indicielle (ou « paramétrique ») consiste à verser des indemnités sur la base d'un paramètre objectif fixé de manière à corrélérer le plus précisément

possible la perte d'un type de culture spécifique subie par l'assuré. Le déclenchement du remboursement de l'assuré est fonction de ce paramètre.

Le paramètre peut être un indicateur (Niveau de précipitation ou températures) ou d'indice objectif, fortement corrélé au rendement. Le contrat d'assurance indicielle compense la perte d'actifs et d'investissements résultant de phénomènes météorologiques ou d'autres catastrophes naturelles, ainsi les caractéristiques typiques de ce type sont les suivantes (WB 2011) :

- Une station météorologique spécifique ou un organisme de référence fournissant la mesure de l'indicateur météorologique ou de l'indice pour définir le ou les seuils de déclenchement à partir duquel l'assuré a droit à l'indemnisation.
- Les sommes forfaitaires en fonction du rendement historique et des seuils de déclenchement du paiement et un paiement maximum est fixé selon le paramètre mesuré.
- La période d'assurance est indiquée dans le contrat et coïncide avec la période de croissance de la culture.

## **2. Niveaux d'intervention et business models**

L'assurance indicielle peut être introduite à divers niveaux. Divers modèles de mise en œuvre peuvent être utilisés (WB 2011):

- Au niveau micro, les assurés sont des agriculteurs, des ménages ou des propriétaires de petites entreprises agricoles, qui souscrivent une assurance pour se protéger des pertes potentielles causées par des phénomènes météorologiques défavorables. Les contrats au niveau micro peuvent être distribués aux agriculteurs par des prestataires de services financier, les associations d'agriculteurs, les fournisseurs d'intrants, les transformateurs ou les ONG.
- Au niveau méso, L'assurance indicielle ouvre l'accès à une nouvelle base de clients, les acteurs du niveau méso sont les intermédiaires qui ont également des intérêts sociaux ou commerciaux à se protéger eux-mêmes et leurs clients petits exploitants contre les risques météorologiques. Ces organisations peuvent jouer le rôle d'assuré. À ce niveau, l'assurance indicielle peut être structurée par une politique émise à l'organisation, mais avec des règles de paiement qui pourraient bénéficier directement ou indirectement aux agriculteurs.

**Tableau 9:**Niveaux d'intervention et business plans de l'assurance indicielle

	<b>Assurance au niveau des agriculteurs</b>	<b>Assurance de niveau institutionnel</b>
<b>Planification et mise en œuvre du programme</b>	La sensibilisation des agriculteurs est essentielle - peut nécessiter une coordination avec les organisations d'agriculteurs ou d'autres prestataires de services ruraux Les services doivent être axés sur les agriculteurs Mise en œuvre compliquée par le nombre de clients et leur dispersion	Plus petit nombre de parties prenantes potentielles La sensibilisation n'est pas aussi pertinente Décisions programmatiques peut être fait relativement par les financiers institution ou portefeuille client
<b>Conception du contrat</b>	Les contrats doivent répondre aux besoins d'agriculteurs ou de groupes d'agriculteurs spécifiques, tout en étant suffisamment génériques pour être évolutifs La conception d'un contrat qui agit comme une approximation précise du risque de chaque agriculteur est essentielle pour l'adoption et l'efficacité du programme	Les produits peuvent être adaptés pour répondre aux besoins spécifiques d'un seul client plutôt que d'un grand nombre de clients Déterminer le risque météorologique moyen d'un grand groupe d'agriculteurs plutôt que le risque pour une exploitation spécifique peut simplifier la conception de l'indice
<b>Risque de base</b>	Seuls de petits niveaux de risque de base seront acceptés par les agriculteurs La météo aux stations doit correspondre à la météo sur les champs des agriculteurs avec un degré élevé de confiance Le risque de base et sa gestion sont un défi majeur, en particulier pour la durabilité	Les clients du portefeuille sont intéressés par un paiement moyen, qui minimise le risque de base Les clients du portefeuille sont des agrégateurs de risques, avec de nombreux clients et domaines, et sont donc plus capables d'absorber les événements de risque de base que les individus
<b>Communication et éducation</b>	L'éducation et la formation des agriculteurs sont des éléments marketing essentiels et permettent aux agriculteurs de comprendre le risque de base Compte tenu du nombre de personnes impliquées, du fait que l'assurance est un concept nouveau pour beaucoup et que la WII est techniquement compliquée, l'investissement de ressources dans l'éducation et la formation peut être important	Éducation et formation limitées à un groupe beaucoup plus petit d'individus, dont beaucoup ont déjà une meilleure compréhension et sensibilisation aux produits financiers Compte tenu de ce qui précède, les coûts impliqués avec ces clients sont invariablement beaucoup plus faibles

**Source:** weather index insurance for agriculture, Agriculture and Rural Development (ARD)

En plus d'avoir une portée plus large que la plupart des assureurs auprès du groupe cible, ces intermédiaires peuvent par exemple, atténuer les défauts de paiement massifs dans une institution de microfinance (IMF) et de redémarrer la production. Fournir un soutien des revenus pendant les périodes de sécheresse, compléter les autres sources de revenus des ménages qui pourraient être perturbées, faciliter l'accès au crédit et encourager l'investissement dans des intrants de meilleure qualité.

Enfin, l'assurance indicielle peut également être vendue au niveau macro, pour aider les gouvernements et les organismes de secours en recevant rapidement des liquidités après les catastrophes tout en intervenant aux niveaux micro et méso.

## **Sous-section 2 : Construction du contrat et choix de l'indice**

La conception des contrats d'assurance indicielle est extrêmement complexe, notamment en raison des efforts nécessaires pour identifier un indice climatique présentant une corrélation élevée avec les pertes agricoles et minimiser ainsi le risque de base. L'étape fondamentale dans la mise en place d'une assurance paramétrique est la construction de l'indice ou l'indicateur. Puisqu'il n'existe pas d'expertise avant indemnisation.

L'objectif est de définir une structure qui saisit efficacement la relation entre la variable météorologique et la perte potentielle de récolte et de sélectionner l'indice le plus efficace pour fournir des paiements en cas de pertes, en éliminant le risque de base dans la mesure du possible. L'ensemble des combinaisons d'indices possibles est illimité et de nombreuses structures ont été développées dans l'histoire relativement courte de l'assurance indicielle climatique (Carter, et al. 2015).

Ce type d'assurance présente l'intérêt de ne plus lier le versement d'indemnités à des sinistres mais à la position d'un indice par rapport à un seuil donné. Le versement des indemnités d'assurance est déclenché par le franchissement d'un seuil signalant une catastrophe. Il n'est pas nécessaire d'effectuer de contrôles sur les exploitations, ce qui évite les questions de risque subjectif et de sélection adverse ainsi que les coûts élevés et les longs délais de la vérification des déclarations de sinistres. Au lieu de surveiller les rendements ou la mortalité du bétail sur des milliers de petites exploitations dispersées, ce qui aurait un coût prohibitif, il suffit de mesurer un indice fortement corrélé aux rendement agricole. La théorie de l'assurance indicielle veut que cet indice soit :



- Etroitement corrélé avec le risque assuré
- Objectif et facilement quantifiable
- Publiquement vérifiable
- Non manipulable par l'assureur ou l'assuré

### **Sous-section 3 : Tarification**

Le prix du contrat, ou plutôt le coût de la prime, est également fixé par l'assureur. Le processus qu'un assureur entreprend pour déterminer la prime est connu sous le nom de tarification.

Lors de l'établissement d'un prix pour un instrument de gestion des risques météorologiques, les fournisseurs prendront en considération leur propre appétit pour le risque, les impératifs commerciaux et les coûts opérationnels. Bien qu'il existe une variété de méthodologies de tarification, en général, la tarification des contrats d'assurance contient un élément de perte attendue.

La tarification est essentiellement une évaluation par l'assureur du risque et des expositions des clients potentiels afin de déterminer un risque acceptable (éligibilité) et un niveau de couverture, et donc une prime.

La marge de risque est facturée par les fournisseurs car durant certaines années, lorsque des événements extrêmes se produisent, des paiements supérieurs à cette moyenne peuvent se produire, et le preneur de risque doit être indemnisé pour cette incertitude.

Les assureurs utilisent leurs propres méthodes pour évaluer les risques et tarifier les contrats, et par conséquent, différents assureurs fixent le prix du même contrat à différents niveaux de prime pour les mêmes risques.

Les valeurs de la perte attendue et de la marge de risque doivent être établies à partir de données météorologiques historiques. Ces valeurs peuvent inclure un ajustement pour compenser les incertitudes dans les données telles que les tendances (L'évolution des risques météorologiques liés au changement climatique) ou les valeurs manquantes.

Les assureurs qui cherchent à introduire l'assurance indicielle climatique dans leur pays doivent disposer généralement d'au moins 25 à 30 ans de données météorologiques. Ainsi, lors du calcul des pertes attendues, les assureurs prennent le risque pur (selon les

données et l'indice) et ajoutent ensuite une charge d'ambiguïté (Une marge pour tenir compte des inexactitudes ou des incertitudes des données).

Les estimations de risque pur et les charges d'ambiguïté s'ajustent au fil du temps, bien que les nouvelles informations ne fournissent pas toujours de clarté ou ne conduisent pas toujours à une tarification plus pointue.

## **Conclusion**

En reprenant la définition actuarielle du risque assurable, les contours de la problématique de l'assurabilité de la sécheresse se dessinent de plus en plus clairement. Les risques agricoles et leurs caractéristiques très spécifiques (interdépendance forte, asymétries d'informations, forte variabilité) conduisent souvent les assureurs à élever la valeur des primes et ajouter des exclusions supplémentaires.

L'assurance indemnitaire ne permettant pas de répondre à la question. Premièrement, l'existence d'aléa moral crée une situation perdant-perdant pour l'assureur et l'assuré. D'une part l'assuré se voit imposer généralement une franchise ainsi que des conditions strictes sur sa production, d'autre part l'assureur prend le risque de devoir payer des sinistres qui n'avaient pas lieu d'être. L'antisélection est aussi un des obstacles majeurs dans la mise en place de l'assurance agricole.

Dans le cadre de l'assurance à caractère indemnitaire, la compensation est basée sur les pertes ou les dégâts évalués, ce qui implique donc qu'un assureur se rende dans chaque exploitation pour déterminer la couverture et évaluer les pertes. Du fait de ces frais généraux, il est difficile et coûteux de gérer ce type d'assurance de manière efficiente et efficace.

Cette situation problématique peut être en grande partie résolue grâce à l'assurance indicielle, qui peut surmonter ces contraintes. Bien que l'assurance indicielle soit utilisée comme outil d'aide au développement au sein de divers pays émergents, elle est généralement considérée dans les pays développés comme une technique d'assurance alternative. Elle présente pourtant de nombreux avantages relativement à un produit plus classique : déclenchement automatique de la prestation et faibles frais de gestion, délais d'indemnisation de l'ordre de quelques jours, absence d'aléa moral ou gestion très simple et peu coûteuse de ce dernier, etc. Ces derniers points poussent aujourd'hui certains assureurs

européens à lancer leurs propres couvertures indiciaires, malgré la difficulté de cette démarche.

Un marché en plein essor dont profite les premiers acteurs à s'être positionnés sur le marché de l'indicielle. Ce qui leur confère de facto un avantage concurrentiel. Pour exemple, Swiss Re bénéficie d'un partenariat historique avec la Banque mondiale qui a été à l'initiative de la mise en place de l'assurance indiciaire à ses débuts, dans plusieurs pays en développement.

Cette assurance permet aux secteurs « météo-sensibles » comme l'agriculture, de se protéger des aléas climatiques, et de ce fait préserver leurs sources de revenus. La mise en œuvre d'une telle assurance peut s'avérer toutefois onéreuse et fort compliquée, du fait de la difficulté de cerner le risque de sécheresse et son impact sur le rendement agricole afin d'identifier l'indice.

L'étape fondamentale dans la mise en place d'une assurance indiciaire est la construction de l'indice. Ce dernier est censé remplacer le rôle traditionnel de l'expert et doit de ce fait obéir à un certain nombre de critères et son efficacité est mesurée par sa corrélation avec le rendement afin de minimiser le risque de base. C'est dans ce sens que nous sommes orientés vers les travaux sur les modèles de détection et mesures de la sécheresse pour trouver un indice qui mesure l'état qualitatif d'une sécheresse agricole à un emplacement donné pour une période donnée à diverses échelles temporelles. L'indice RDI qui est adapté à la région méditerranéenne semble de ce fait un candidat incontournable pour construire la base pour concevoir un produit d'assurance sécheresse agricole en Algérie.

# **Chapitre III : Conception d'un produit d'assurance indicielle « Sécheresse agricole »**

# **Chapitre 3 : Conception d'un produit d'assurance indicielle « Sécheresse agricole »**

## **Introduction**

Nous avons consacré les deux premiers chapitres à démontrer l'utilité et la nécessité de recourir aux techniques de l'assurance pour la gestion des risques agricole. En effet dans le premier chapitre, en plus de la présentation du contexte économique, écologique et organisationnel, nous avons mis en avant l'enjeu pour les pouvoirs publics algériens de la protection de son secteur agricole qui réside dans la protection de l'agriculteur et de son activité. Le choix des céréales pour élaborer notre cas pratique est évident tenant compte de son importance d'une part du fait du système alimentaire de la population et son caractère stratégique et social et d'autre part du caractère pluvial de sa culture ce qui lui rend vulnérable face aux risques climatiques.

L'agriculteur comme tous créateur de richesse, fait face à une multitude de risques dont les risques climatiques et particulièrement le déficit pluviométrique ou la sécheresse qui confronte l'agriculteur à une volatilité de ses performances. Toute son entreprise se trouve ainsi pénalisée en matière de stabilité économique. Pour un agriculteur averse à ce risque, L'assurance permet de transférer ces risques vers des agents qui ont la capacité et un avantage comparatif à les supporter. Cependant, le marché de l'assurance reste sceptique lorsqu'il s'agit de couvrir les risques climatiques à cause des contraintes qui limitent l'assurabilité de ce genre de risques sur récoltes.

C'est dans ce contexte qu'une assurance indicielle apporte les solutions techniques (en éliminant les phénomènes d'aléa moral et de la sélection adverse) et organisationnelles (en facilitant les procédures).

La couverture concerne les régions à vocation agricole qui sont situés dans un environnement favorable à l'agriculture et la période de couverture du contrat est conditionnée par le cycle de vie de la végétation et une analyse des caractéristiques des périodes sèches et humide de la région cible. La première section de ce chapitre apportera des solutions techniques permettant de déterminer l'éligibilité de la région et la période de couverture du contrat.

L'indice RDI, Calculé à partir de valeurs climatiques qui caractérisent le risque à couvrir, offre des représentations numériques appartenant à des classes indiquant l'intensité de la sécheresse agricole et sa probabilité de survenance facilitant le processus de tarification. Nous allons à travers ce chapitre, plus pratique que les deux précédents, présenter la zone d'étude dans un premier temps ainsi que les données exploitées. Ensuite viendra le calcul de l'indice RDI sur la période de couverture du contrat et sa validation en vue de proposer un modèle de tarification.

## **Section 1 : Présentation de l'étude et validation de l'indice**

Malgré une grande variété de situations, les agricultures méditerranéennes restent extrêmement marquées par leur climat, modeste niveau de développement. Ce sont des agricultures à risques, cantonnées à l'intérieur d'écosystèmes fragiles et perturbés. Notre choix pour la wilaya de Tiaret, comme région d'étude est basé sur sa vocation agricole prédominée par la céréaliculture.

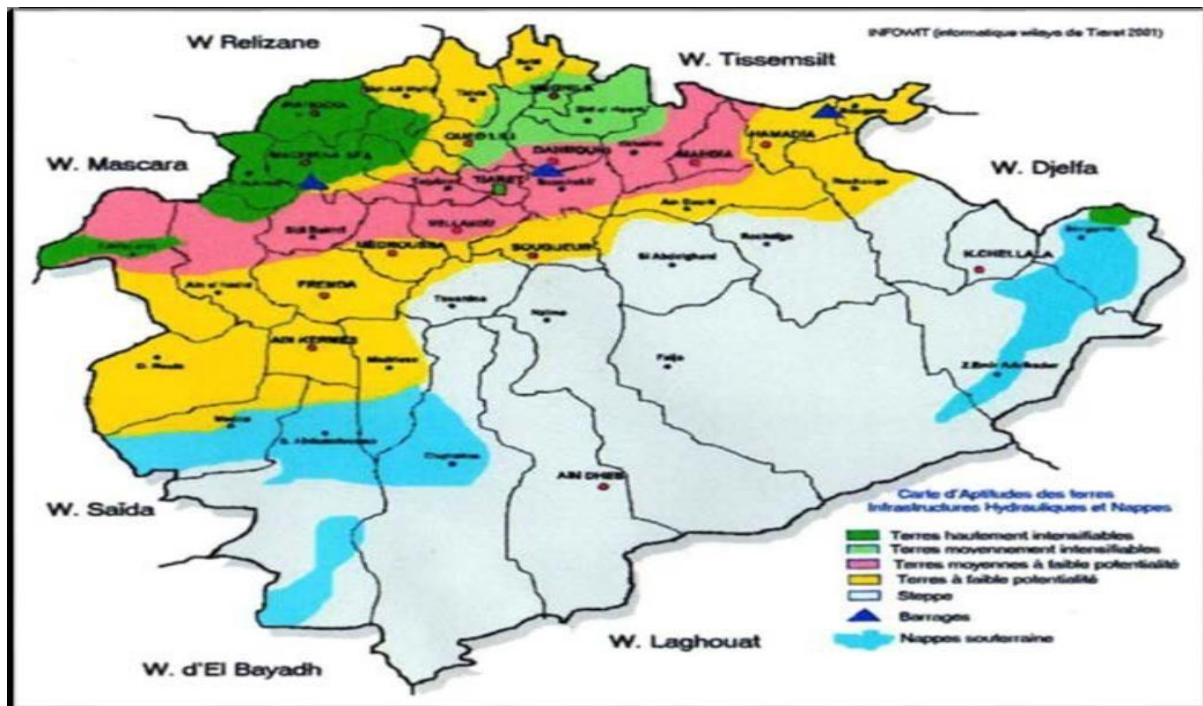
La ville et la région se trouvent au sud-est d'Oran et au sud-ouest de la capitale Alger, dans la région occidentale des hautes plaines, dans l'Atlas tellien et à environ 150 km de la côte méditerranéenne.

### **Sous-section 1 : Zoom sur l'éligibilité de zone d'étude et les données**

Entre le massif de l'Ouarsenis occidental au Nord et les Hauts-Plateaux steppiques au Sud, s'étendent les plaines céréalières de Tiaret couvrant une superficie de 20.086,62 km<sup>2</sup>. Une région importante du nord-ouest de l'Algérie avec un immense potentiel agricole et céréalière couvrant une superficie de 20399,10 km<sup>2</sup> et s'étend sur une partie de l'Atlas tellien au Nord et sur les hauts plateaux au centre et au Sud. Elle est limitée par plusieurs wilayas à savoir (figure 14) : les Wilayas de Tissemsilet et Relizane au Nord ; Laghouat et El-Bayadh au Sud ; les Wilayas de Mascara et Saida à l'Ouest ; la Wilaya de Djelfa à l'Est.

Notre choix pour la wilaya de Tiaret, comme région d'étude est basé sur sa vocation agricole prédominée par la céréaliculture. Nous allons cependant proposer des critères scientifiques que l'assureur peut prendre en compte pour accepter de couvrir le risque sécheresse agricole à travers l'analyse de l'étage bioclimatique de la région ciblée.

**Figure 14:** Carte géographique de la wilaya de Tiaret



Source : <https://www.researchgate.net/figure/carte-geographique-de-la-wilaya-de-Tiaret-Algerie>

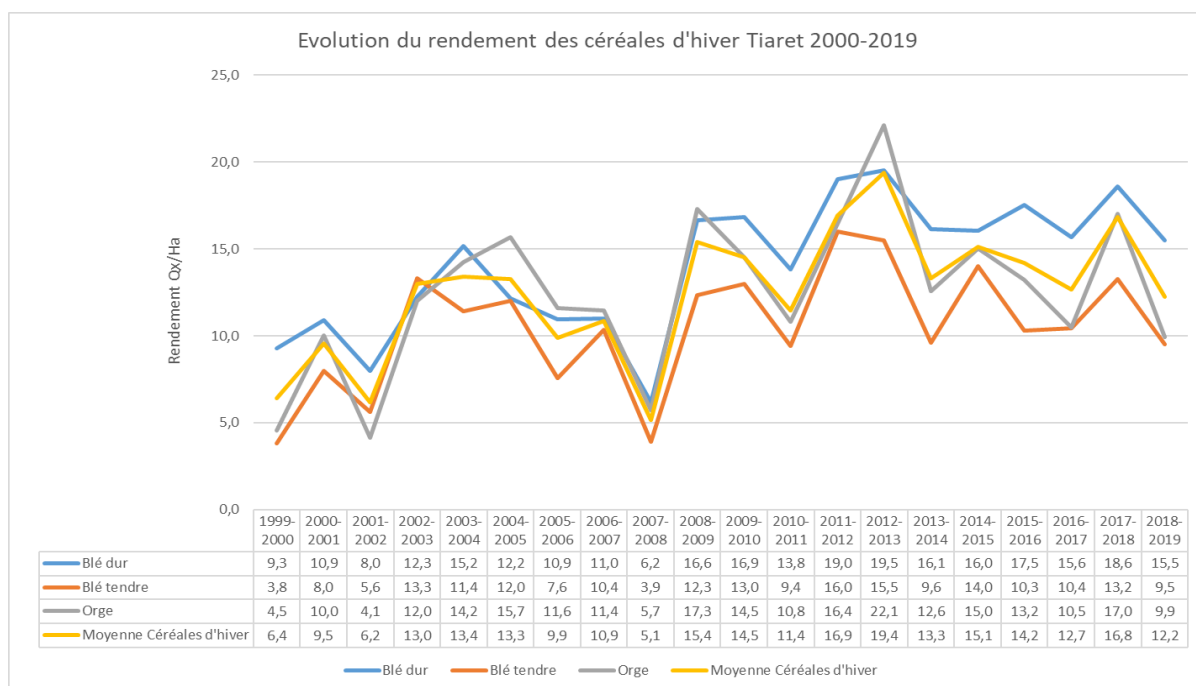
### 1. Présentation de la variable météo-sensible (Rendement céréalier).

Les statistiques agricoles publiées par le ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, sont élaborées à partir de données recueillies auprès des Directions des Services Agricoles des wilayas (DSA). Celles-ci les obtiennent par des enquêtes menées au niveau des communes par les agents des services statistiques. Les canevas dûment renseignés par wilaya sont transmis à la Direction des Systèmes d'Information, des Statistiques et de la Prospective.

Les résultats sont alors publiés en deux revues de renseignements statistiques : La série A concernant les informations sur les opérations agricoles effectuées en automne et en hiver et (la série B) publiée en fin de campagne agricole affiche le bilan de la campagne agricole. A partir de ces publications nous avons tiré les renseignements nécessaires à notre étude.

La wilaya de recèle d'importantes potentialités naturelles et notamment près de 400000 Ha de terres agricole dont 90% sont consacrés à la culture des céréales qui constitue l'essentiel de la production agricole et de la croissance économique de la région.

**Figure 15:** Evolution du rendement des céréales d'hiver Tiaret 2000-2019



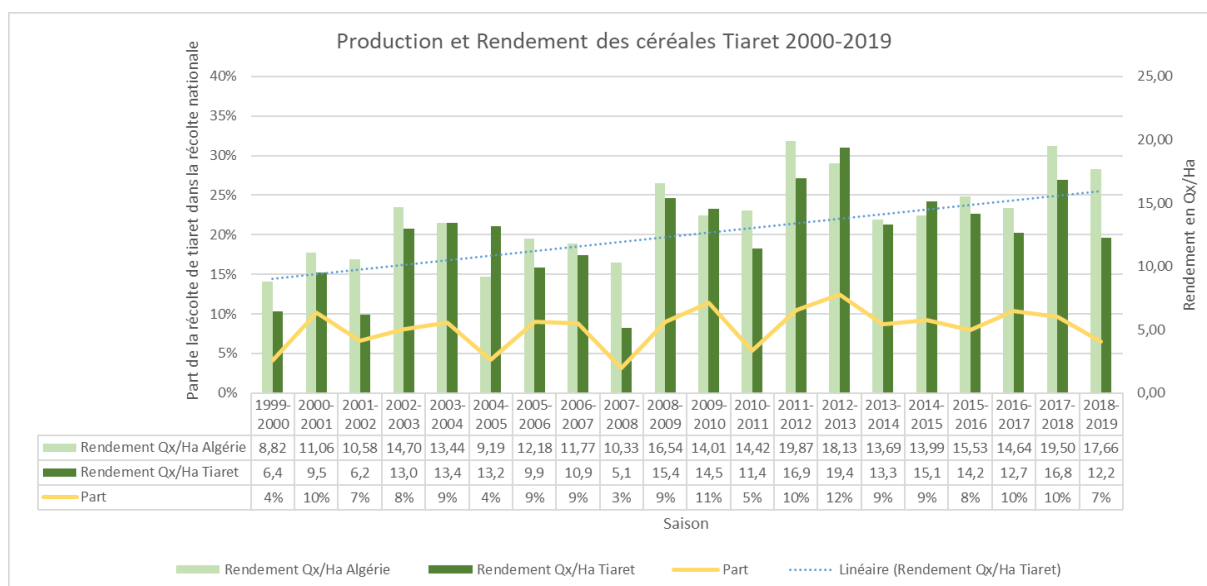
**Source :** Elaboré par nous-mêmes Statistiques agricoles Série B (2000-2019).

La culture de blé dur occupe 42% des terres céréalières contre 38% consacré à l'orge et 16% pour le blé tendre.

La wilaya de Tiaret occupe la 1ere place au niveau national dans la production céréalière, qui a atteint durant la saison 2018-2019 une récolte de 3,7 millions de quintaux contre 56 millions de quintaux au niveau national. En effet, Tiaret a contribué en moyenne à 8% de la production nationale de céréales entre 2000 et 2019.



**Figure 16: Production et rendement des céréales Tiaret 2000-2019**



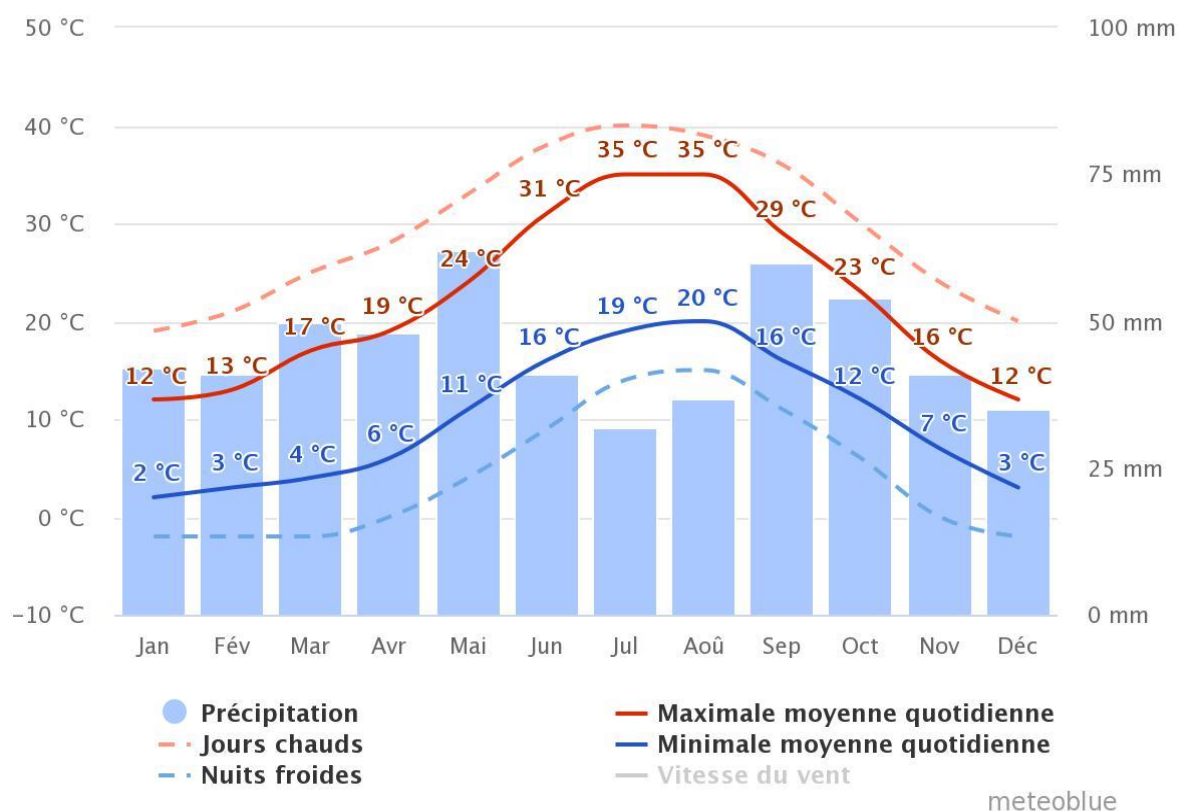
**Source :** Elaboré par nous-mêmes Statistiques agricoles Série B (2000-2019).

Le rendement moyen des principales céréales d’hiver a varié entre 5 et 20 Qx/Ha avec une moyenne de 10,3 Qx/Ha sur la première décennie 2000-2009 et 14,7 Qx/Ha sur la deuxième période 2010-2019. Cette tendance haussière du rendement peut être expliquée par l’évolution technologique en matière de qualité des graines, des engrais, des moyens de récolte ou de l’irrigation.

## 2. Présentation des données météorologiques

« Meteoblue » est un service météorologique créé en 2006 à l’Université de Bâle, en Suisse, il a ensuite été fondée en tant que société dérivée afin de servir des clients notamment dans le domaine de l’agriculture ainsi que de l’énergie solaire et éolienne. Meteoblue à travers son produit « history+ » offre un accès immédiat à l’archive des simulations météorologiques mondiales les variables météorologiques, telles que la température, le vent, la couverture nuageuse, les précipitations et bien d’autres en résolution horaire pour n’importe quel endroit de la Terre et à différents niveaux d’altitude, indépendamment des stations de mesure.

**Figure 17:** Indicateurs climatiques de la wilaya de Tiaret



Source : Meteoblue

La "maximale moyenne quotidienne" (ligne rouge continue) montre la température maximale moyenne d'un jour pour chaque mois pour Tiaret. De même, « minimale moyenne quotidienne" (ligne bleue continue) montre la moyenne de la température minimale. Les jours chauds et les nuits froides (lignes bleues et rouges en pointillé) montrent la moyenne de la plus chaude journée et la plus froide nuit de chaque mois des 30 dernières années.

### 3. Analyse bioclimatique de la wilaya de Tiaret

Afin de déterminer l'éligibilité d'une région, il serait intéressant de se baser sur un critère objectif pour classer la zone cible selon le risque de sécheresse et l'intérêt d'une assurance climatique. La sécheresse et le froid sont donc les principaux facteurs limitant pour la végétation méditerranéenne. C'est pour cette raison que des paramètres climatiques, liés aux précipitations et aux températures ont été choisis comme bases des principales classifications bioclimatiques des espaces méditerranéens.

Nous allons utiliser un indice climatique proposé par (Emberger 1952). Cet indice vise à traduire un écosystème méditerranéen en fonction de la vie végétale.

Dans la pratique, on définit les limites d'un étage donné (étage climatique) par une plage de valeur des variables climatiques moyennes (température, précipitation).

L'auteur a combiné l'expression du froid  $m$  aux valeurs de  $Q_2$  et il a abouti à un système d'axes de coordonnées constituant le Climagramme d'Emberger. Ainsi, à l'aide du coefficient  $Q_2$ , mais aussi en prenant en considération la répartition de la végétation, l'auteur a pu définir cinq ambiances bioclimatiques qui sont : saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide.

A partir de cette classification, nous pouvons de ce fait considérer l'étage semi-aride et l'étage subhumide comme zones assurables et donc éligibles pour une assurance sécheresse agricole. Le quotient initial d'Emberger est défini par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{200P}{M^2 + m^2}$$

Avec

- $M$  : moyenne des maxima (Températures maximales journalières) du mois le plus chaud, en kelvins
- $m$  : moyenne des minima (Températures minimales journalières) du mois le plus frais, en kelvins
- $P$  : cumul pluviométrique annuel, en millimètres.

Selon la formule de STEWARD (qui simplifie la formule d'EMBERGER) : Quotient pluviométrique :

$$Q_3 = \frac{3,43P}{M + m}$$

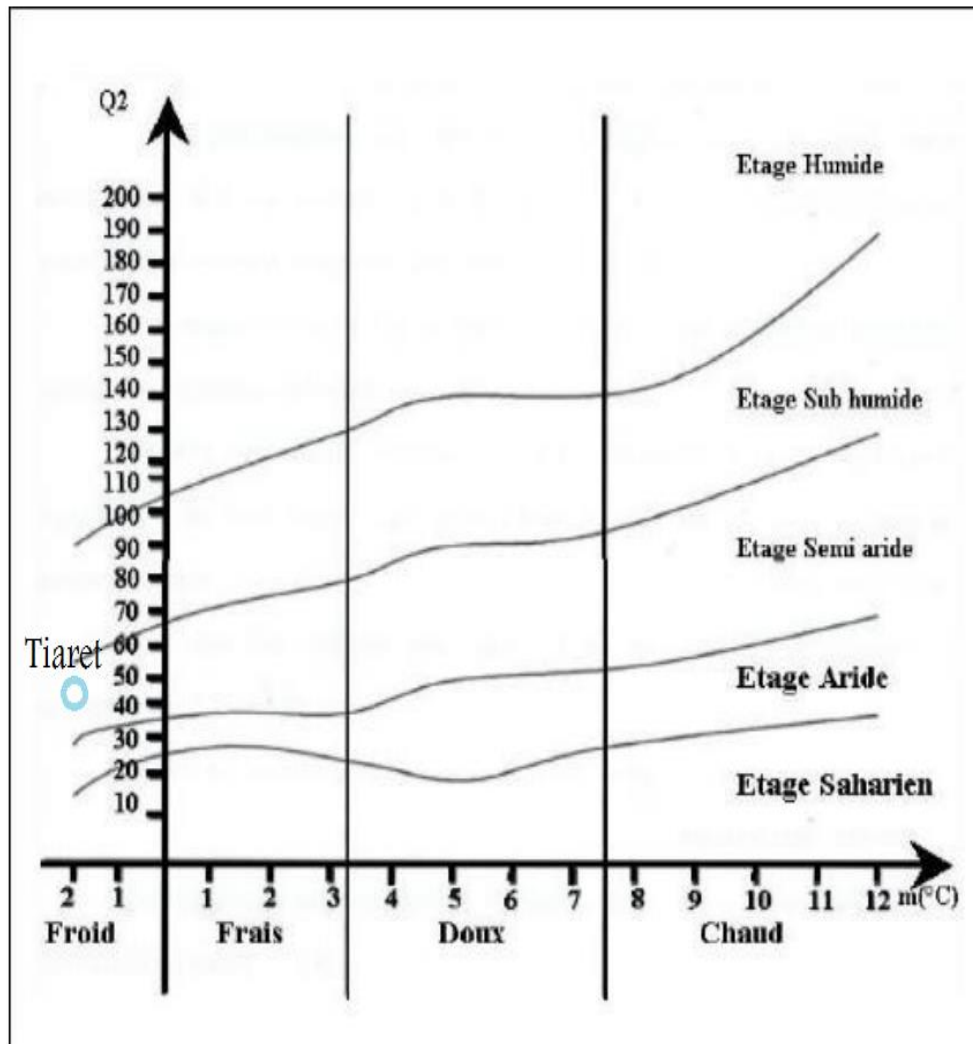
Avec

- $M$  : moyenne des maxima (températures maximales journalières) du mois le plus chaud, en Celsius ( $M=35^\circ \text{C}$ )
- $m$  : moyenne des minima (températures minimales journalières) du mois le plus frais, en Celsius ( $M=-2^\circ \text{C}$ )

- $P$  : cumul pluviométrique annuel, en millimètres ( $P=535,5$ )

Alors : Le quotient pluviométrique de la wilaya de Tiaret est :  $Q3= 49,64$

**Figure 18:** Climagramme d'Emberger sur la wilaya de Tiaret



**Source :** Elaboré par nous même

Le quotient pluviométrique (Figure 18) montre que la région de Tiaret est située dans l'étage bioclimatique semi-aride avec un hiver froid.

## Sous-section 2 : Détermination de la période de couverture du contrat

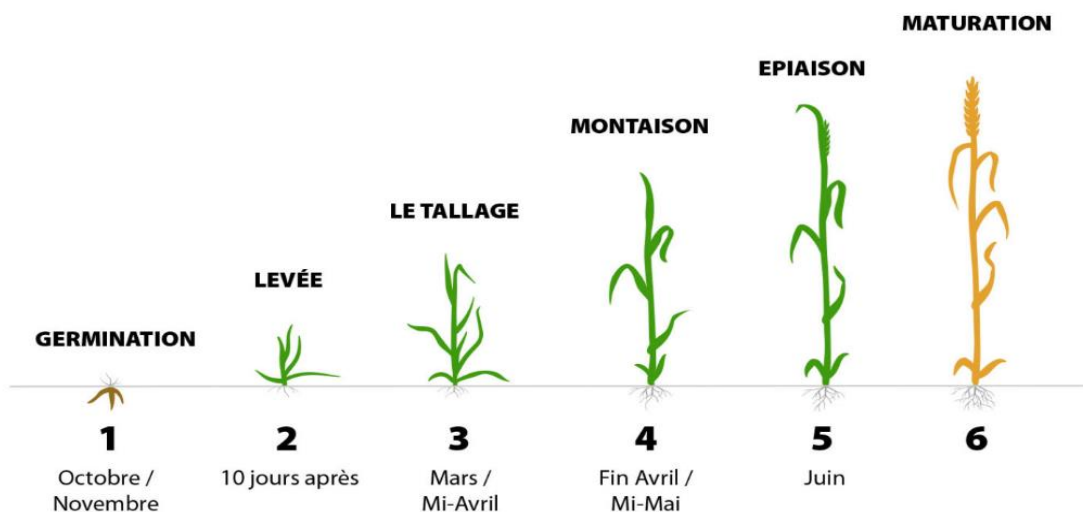
Pour déterminer la période de couverture du contrat d'assurance indiciaire sécheresse agricole nous proposons de tenir compte de deux facteurs qui sont : le cycle biologique de la plante ainsi que le diagramme ombrothermique qui permet de détecter les périodes sèche et les périodes humides de la région concernée

### 1. Cycle biologique des céréales d'hiver

Les céréales d'hiver possèdent un cycle biologique annuel, réparti classiquement en 3 périodes principales successives (germination, reproduction et maturation). Le blé a besoin en moyenne d'environ 350 à 600 mm d'eau pour atteindre sa maturité physiologique et son rendement potentiel subdivisées en phases délimitées par des stades. Ces derniers sont définis par des changements morphologiques visibles et des modifications internes de la plante.

**Figure 19:** Les différentes étapes de la culture des céréales

LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA CULTURE DU BLÉ



Source <https://espace-pain.info/culture-du-ble/>

La dynamique de développement de la plante et les principaux stades repères sont illustrés dans la figure 19. Le besoin en eau aux différents stades de croissance du blé augmentent au fur et à mesure que les plantes se développent et qu'elles produisent une plus grande surface foliaire active. Les besoins en eau augmentent au fur et à mesure que les plantes se développent et qu'elles produisent une plus grande surface foliaire active.

On considère que c'est la phase de croissance la plus critique du blé, et aussi celle pendant laquelle les besoins en eaux sont les plus élevés. Un stress hydrique à ce stade, même modéré, entraîne une limitation de la photosynthèse et un ralentissement de la croissance des cellules et des feuilles. Juste après la floraison, le déficit hydrique reste problématique car il peut entraîner un raccourcissement de la phase de remplissage des grains et une baisse de leur nombre et de leur poids. Après la floraison, la phase de remplissage des grains est considérée comme faisant partie des trois phases pendant lesquelles la plante est le plus sensible au stress hydrique, lequel peut alors entraîner une baisse considérable du rendement.

Au cours de la période maturation. La plante est moins sensible au manque d'eau. Le grain se développent pour atteindre sa taille définitive il contient encore 50 % d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin et le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement (le grain perd en humidité pour constituer l'amidon) Les feuilles sont alors sèches et les nœuds de la tige encore verts. Ensuite le grain mûrit : brillant, durci, il prend une belle couleur jaune.

## **2. Diagramme ombrothermique**

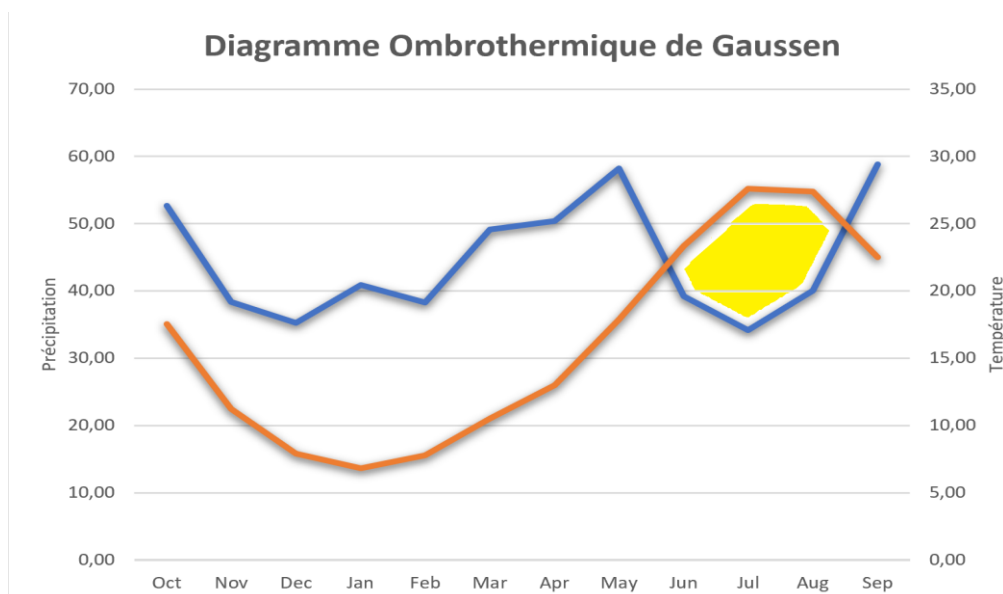
Dans l'optique de proposer un critère technique objectif qui aide à la décision de la détermination de la période de couverture du contrat d'assurance sécheresse climatique. Nous proposons le diagramme ombrothermique qui sert à mettre en évidence la période de sécheresse et son intensité dans une région donnée.

Un diagramme ombrothermique (Ombro pour pluie et thermique pour température) est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées, une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures ( $P = 2T$ ). La norme de deux pour un utilisée dans ce diagramme tient au fait qu'il a été développé en milieu méditerranéen et que la sécheresse pour les plantes de ce milieu correspond à un rapport entre le nombre de mois secs et humides de plus de 1 sur le diagramme.

Bagnouls et Gaussen (1953) ont défini cette période comme étant une période où les précipitations (P) données en millimètres sont inférieures ou égales au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius (T).

Les températures sont indiquées à droite et les précipitations sont indiquées à gauche.

**Figure 20:**Diagramme ombrothermique de Gausson sur la wilaya de Tiaret



**Source :** Elaboré par nous même

Pour mettre en évidence les périodes de sécheresse de la wilaya de Tiaret (représentées ci-dessous en jaune) Nous avons défini une courbe des précipitations (ici courbe bleu) en prenant les moyennes mensuelles sur 35 ans (1987-2021) se situant en dessous de la courbe des températures qui représente la moyenne des températures mensuelles sur la même période (ici courbe rouge).

Ces diagrammes permettent de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue plus technique.

### 3. Détermination de la période de couverture

Compte tenu des deux critères utilisés pour déterminer la période de couverture de l'assurance indiciaire sécheresse agricole, à savoir le cycle biologique de la plante couvrir et la détermination de la période sèche et humide. Nous avons pris la période d'octobre à avril pour le calcul de l'indice RDI et déterminer ainsi les niveaux de sécheresse survenus dans la région de Tiaret sur les 35 dernières années.

### **Sous-section 3 : Calcul de l'indice RDI et étude de la corrélation**

La période vulnérable sur la base de laquelle sera calculé l'indice RDI étant identifiée, nous passons dans cette partie au calcul du RDI (Octobre-Avril) et à le valider à travers une étude de la corrélation avec le rendement.

#### **1. Présentation de la base de données et du logiciel de calcul**

Le logiciel DrinC (**D**rought **I**ndex **C**alculator) développé par le Centre d'évaluation des risques naturels et de planification proactive et le laboratoire des travaux d'assainissement et de gestion des ressources en eau de l'Université Technique Nationale d'Athènes vise à fournir une interface conviviale pour évaluer les indices de sécheresse, adaptée à l'analyse météorologique, hydrologique et agricole de la sécheresse. Les indices de sécheresse suivants sont actuellement inclus dans DrinC :

- Indice de précipitations standardisées (SPI)
- Indice de détection de la sécheresse (RDI)
- Indice de sécheresse de débit fluvial (IDS)
- Indice de précipitations standardisées agricoles (aSPI)
- Indice de détection de la sécheresse (eRDI)
- Déciles de précipitations

L'indice RDI a des exigences relativement faibles en matière de données, tandis que leurs résultats peuvent être facilement interprétés et utilisés dans la planification stratégique et les applications opérationnelles. Les données utilisées pour le calcul du RDI sur la région de Tiaret sont :

- Les précipitations : un historique de 35 ans (1988-2022) de données mensuelles montrant la quantité en millimètre (mm).
- L'évapotranspiration : L'évapotranspiration est exprimée en millimètres (mm) par mois sur la même période (1988-2022).



## 2. Présentation des résultats

La méthode de calcul du RDI illustrée dans le deuxième chapitre a été mise en œuvre en utilisant le logiciel DrinC. Les résultats obtenus par le calcul du RDI sur la période vulnérable (Octobre-Avril) identifiée dans la première section figurent dans le tableau suivant montrant l'indice formulé sous des formes alpha ( $\alpha_7$ ), normalisée ( $RDI_n$ ) et standard ( $RDI_{st}$ ) et ce pour toutes les campagnes considérées (1987-1988 jusqu'à 2021-2022).

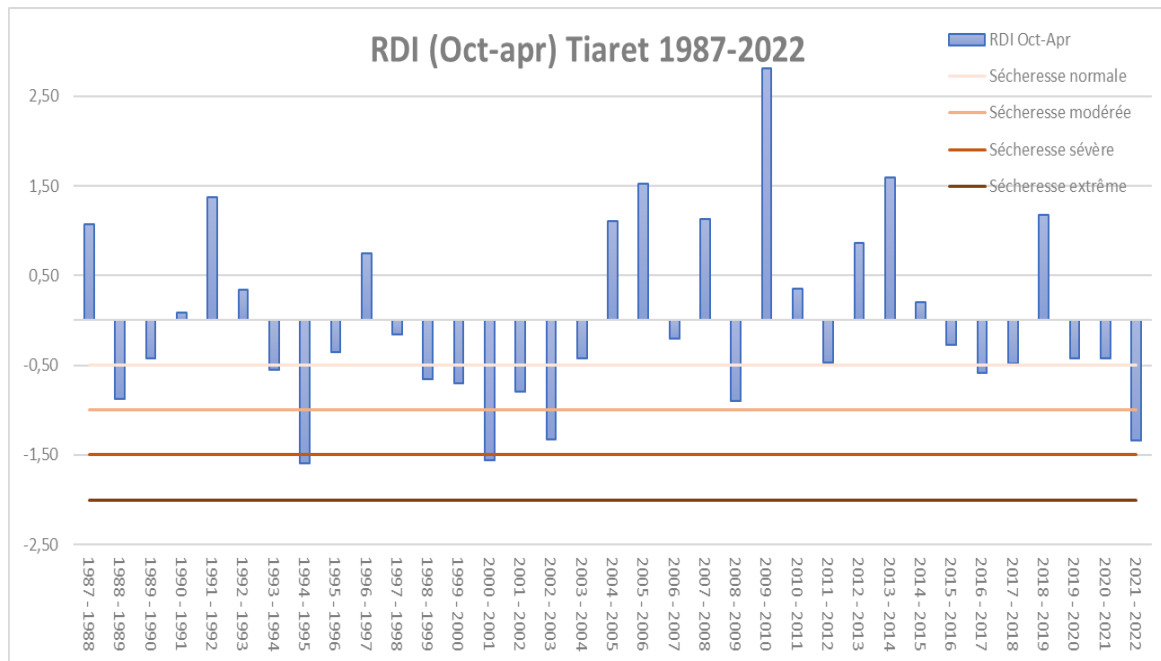
**Tableau 10:**Indice de sécheresse RDI (Oct-apr) Tiaret 1988-2022

7-month eRDI	Indice de sécheresse RDI (Oct-apr) Tiaret 1987-2022						
Year	$\alpha_7$	Normalised	Standardised	Year	$\alpha_7$	Normalised	Standardised
1987 - 1988	0,34	0,47	1,07	2005 - 2006	0,41	0,75	1,52
1988 - 1989	0,14	-0,40	-0,87	2006 - 2007	0,20	-0,15	-0,20
1989 - 1990	0,18	-0,24	-0,42	2007 - 2008	0,35	0,51	1,13
1990 - 1991	0,23	-0,03	0,09	2008 - 2009	0,14	-0,40	-0,90
1991 - 1992	0,39	0,66	1,37	2009 - 2010	0,64	1,73	2,81
1992 - 1993	0,25	0,09	0,34	2010 - 2011	0,25	0,10	0,35
1993 - 1994	0,17	-0,28	-0,55	2011 - 2012	0,17	-0,26	-0,47
1994 - 1995	0,09	-0,60	-1,59	2012 - 2013	0,32	0,36	0,86
1995 - 1996	0,18	-0,21	-0,35	2013 - 2014	0,42	0,80	1,59
1996 - 1997	0,30	0,30	0,75	2014 - 2015	0,24	0,03	0,21
1997 - 1998	0,20	-0,14	-0,16	2015 - 2016	0,19	-0,18	-0,27
1998 - 1999	0,16	-0,32	-0,66	2016 - 2017	0,16	-0,30	-0,58
1999 - 2000	0,15	-0,34	-0,71	2017 - 2018	0,17	-0,26	-0,48
2000 - 2001	0,10	-0,59	-1,56	2018 - 2019	0,36	0,54	1,18
2001 - 2002	0,15	-0,37	-0,80	2019 - 2020	0,18	-0,24	-0,42
2002 - 2003	0,11	-0,53	-1,32	2020 - 2021	0,18	-0,24	-0,42
2003 - 2004	0,18	-0,24	-0,42	2021 - 2022	0,11	-0,53	-1,34
2004 - 2005	0,35	0,50	1,11				

**Source :** Elaboré par nous même à partir de l'output du logiciel DrinC

Tiaret a connu dans les 35 dernières années 11 saisons sèches. La classification de l'indice RDI mentionnée précédemment nous permet de déterminer la fréquence de la sécheresse selon plusieurs niveaux.

**Figure 21:** Représentation graphique de l'indice RDI (Oct-apr) Tiaret 1987-2022



**Source :** Elaboré par nous même à partir de l'output du logiciel DrinC

Le graphique de la figure 21 représente les valeurs atteintes par le RDI dans la période vulnérable de la wilaya de Tiaret selon les seuils établis pour chaque niveau de sécheresse. Notre zone d'étude n'a connu aucune sécheresse extrême ( $RDI < -2$ ) L'indice est descendu au-dessous de la barre de (-1,5) dans deux saisons affirmant une sécheresse sévère (1994-1995) et (2000-2001).

Les compagnes (2002-2003) et (2021-2022) ont connu une sécheresse modérée avec une fréquence de 5% chacune. Cependant l'indice s'est situé dans l'intervalle  $[-0,5 ; -1[$  sur 7 saisons avec une fréquence de 20%. Nous pouvons prendre en compte ces fréquences pour l'élaboration de la tarification d'une assurance indicielle sur la base du RDI. Toutefois ce dernier est sensé suivre une loi Normale standardisée, chose que nous avons vérifié sur un historique de 35 observations à travers le test de Jarque-Bera dans le tableau suivant :

**Tableau 11:** Test de Jarque-Bera sur l'historiques de l'indice RDI

Test de Jarque-Bera (RDI Oct-Apr) :	
JB (Valeur observée)	2,652
JB (Valeur critique)	5,991
DDL	2
p-value (bilatérale)	0,265
alpha	0,05

Source : Output de Xlstat

Interprétation du test :

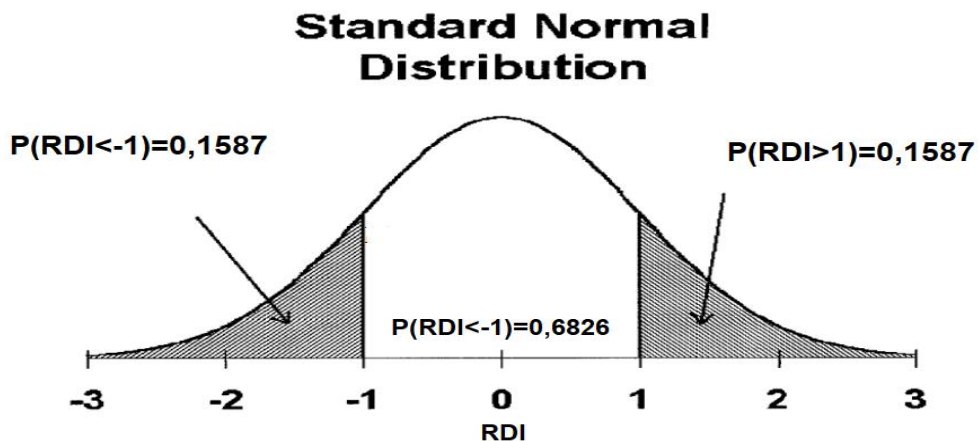
H0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

Ha : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil  $\alpha=0,05$ , on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Avec une moyenne de 0 et un écart-type de 1 l'indice RDI est une distribution normale standard comme le montre la figure ci-après. La probabilité d'occurrence des niveaux de sécheresse peut être calculé facilement.

**Figure 22:** Distribution de l'indice RDI



Source : Elaboré par nous même

### 3. Analyse de la corrélation et validation de l'indice

L'assurance indiciaire consiste à verser des indemnités sur la base d'un paramètre objectif fixé de manière à corrélérer le plus précisément possible la perte d'un type de culture.

Le déclenchement du remboursement de l'assuré est fonction de cet indice calculé. Après l'observation et l'analyse des données de rendement. Nous avons remarqué qu'à partir de la deuxième décennie, Tiaret a enregistré un rendement moyen de 16.9 Qx/Ha pour le blé dur, 12.1 Qx/Ha pour la blé tendre et 14,9 Qx/Ha pour l'orge contre une moyenne respective durant la première décennie de 11.3 Qx/Ha, 8.9 Qx/Ha et 10.6 Qx/Ha. Cette augmentation peut traduire la politique de développement des performances du secteur.

Le tableau 12 montre que la corrélation entre l'indice RDI calculé sur la période octobre-avril et les rendements des céréales d'hiver est plus forte sur la période 2010-2019 que sur la période 2000-2019.

**Tableau 12:** Analyse de la corrélation (indice-rendement)

Analyse de la corrélation		
Observations	20 ans 2000-2019	10 ans 2010-2019
Matrice de corrélation (Pearson) :		
Variables	RDI Oct-Apr	RDI Oct-Apr
Blé dur	0,55	<b>0,82</b>
Blé tendre	0,67	<b>0,76</b>
Orge	0,74	<b>0,89</b>
Coefficients de détermination (Pearson) :		
Variables	RDI Oct-Apr	RDI Oct-Apr
Blé dur	0,30	<b>0,68</b>
Blé tendre	0,45	<b>0,58</b>
Orge	0,54	<b>0,79</b>

**Source :** Elaboré par nous-mêmes

Il convient de souligner aussi qu'un coefficient de corrélation de Pearson supérieur à 0.75 nous permettra d'affirmer une forte corrélation et ainsi valider l'indice RDI comme base d'une assurance sécheresse agricole.

## Section 2 : Proposition d'un modèle de tarification

En actuariat, les GLMs sont utilisés pour résoudre les questions liées à la tarification en assurances, les modèles linéaires généralisés sont souvent utilisés pour estimer la fréquence, la sévérité et la prime pure. Pour chacun de ces éléments, certaines spécificités du

GLM sont utilisées. La régression log-linéaire fait partie de la famille des modèles linéaires généralisés. Elle est utilisée pour modéliser la relation entre une variable de réponse et une ou plusieurs variables explicatives, en supposant que la variable de réponse s'écrit comme le logarithme d'une fonction affine des variables explicatives. Nous allons dans un premier temps présenter le modèle proposé, vérifier son ajustement et choisir entre une régression gamma sur une période de 20 ans (2000-2019) et la même régression sur 10 ans (2010-2019). (Voir annexes 2-7)

## Sous-section 1 : Régression et évaluation de la qualité de l'ajustement du modèle.

Dans l'optique de minimiser le risque de base, nous allons d'abord présenter les coefficients d'ajustement des régressions sur 10 et 20 ans. La régression retenue est celle modélisant le mieux la relation entre la variable de réponse (Le rendement des céréales d'hivers : Blé dur, blé tendre et Orge exprimés en Qx/Ha) et une variable explicative (L'indice RDI calculé sur la période octobre-avril).

### 1. Coefficients d'ajustement

Les statistiques affichés dans les tableaux 13, 14 et 15 sont le nombre total d'observations prises en compte ainsi que la somme des poids, les nombres de degré de liberté et le logarithme de la fonction de vraisemblance associé au modèle.

**Tableau 13:** Analyse de la significativité du modèle (Blé dur)

<b>Coefficients d'ajustement (Variable Blé dur) :</b>		
<b>Statistique</b>	<b>Complet</b>	<b>Complet</b>
<b>Observations</b>	20	<b>10</b>
<b>Somme des poids</b>	20,000	<b>10,000</b>
<b>DDL</b>	18	<b>8</b>
<b>-2 Log(Vraisemblance)</b>	104,715	<b>28,674</b>
<b>R<sup>2</sup>(McFadden)</b>	0,058	<b>0,265</b>
<b>R<sup>2</sup>(Cox and Snell)</b>	0,275	<b>0,645</b>
<b>R<sup>2</sup>(Nagelkerke)</b>	0,276	<b>0,658</b>
<b>AIC</b>	110,715	<b>34,674</b>
<b>SBC</b>	113,702	<b>35,582</b>
<b>Déviante</b>	1,198	<b>0,037</b>
<b>Khi<sup>2</sup> de Pearson</b>	1,074	<b>0,037</b>
<b>Itérations</b>	11	<b>16</b>

Source : Elaboré par nous même à partir de l'output de XLstat

**Tableau 14:** Analyse de la significativité du modèle (Blé tendre)

<b>Coefficients d'ajustement (Variable Blé Tendre) :</b>		
<b>Statistique</b>	<b>Complet</b>	<b>Complet</b>
<b>Observations</b>	20	<b>10</b>
<b>Somme des poids</b>	20,000	<b>10,000</b>
<b>DDL</b>	18	<b>8</b>
<b>-2 Log(Vraisemblance)</b>	98,108	<b>37,381</b>
<b>R<sup>2</sup>(McFadden)</b>	0,093	<b>0,181</b>
<b>R<sup>2</sup>(Cox and Snell)</b>	0,396	<b>0,562</b>
<b>R<sup>2</sup>(Nagelkerke)</b>	0,398	<b>0,568</b>
<b>AIC</b>	104,108	<b>43,381</b>
<b>SBC</b>	107,096	<b>44,289</b>
<b>Déviante</b>	1,629	<b>0,174</b>
<b>Khi<sup>2</sup> de Pearson</b>	1,495	<b>0,182</b>
<b>Itérations</b>	12	<b>13</b>

Source : Elaboré par nous même à partir de l'output de XLstat

**Tableau 15:** Analyse de la significativité du modèle (Orge)

<b>Coefficients d'ajustement (Variable Orge) :</b>		
<b>Statistique</b>	<b>Complet</b>	<b>Complet</b>
<b>Observations</b>	20	<b>10</b>
<b>Somme des poids</b>	20,000	<b>10,000</b>
<b>DDL</b>	18	<b>8</b>
<b>-2 Log(Vraisemblance)</b>	98,666	<b>30,558</b>
<b>R<sup>2</sup>(McFadden)</b>	0,117	<b>0,324</b>
<b>R<sup>2</sup>(Cox and Snell)</b>	0,478	<b>0,769</b>
<b>R<sup>2</sup>(Nagelkerke)</b>	0,480	<b>0,778</b>
<b>AIC</b>	104,666	<b>36,558</b>
<b>SBC</b>	107,653	<b>37,466</b>
<b>Déviante</b>	1,103	<b>0,058</b>
<b>Khi<sup>2</sup> de Pearson</b>	0,989	<b>0,059</b>
<b>Itérations</b>	12	<b>15</b>

Source : Elaboré par nous même à partir de l'output de XLstat

Pour comparer les modèles et ainsi conserver le meilleur, nous pouvons utiliser le critère de R<sup>2</sup>. Étant donné que la statistique R<sup>2</sup> (McFadden), R<sup>2</sup> (Cox et Snell) et R<sup>2</sup> (Nagelkerke) est intuitive, facile d'utilisation et permet de juger rapidement de la qualité du modèle, le R<sup>2</sup> peuvent être interprétés en tant que variabilité expliquée.

Le dénominateur du rapport peut être considéré comme la variabilité totale de la variable dépendante, ou la variation de y par rapport à sa moyenne. Le numérateur du ratio peut être considéré comme la variabilité de la variable dépendante qui n'est pas prédite par le modèle. Ainsi, ce rapport est la proportion de la variabilité totale non expliquée par le

modèle. En soustrayant ce ratio de 1, on obtient la proportion de la variabilité totale expliquée par le modèle. Plus la variabilité est expliquée, meilleur est le modèle.

Le  $R^2$  s'interprète aussi comme l'amélioration du modèle nul au modèle ajusté - Le dénominateur du rapport peut être considéré comme la somme des erreurs au carré du modèle nul. Un modèle prédisant la variable dépendante sans aucune variable indépendante, ou chaque valeur  $y$  est prédite comme étant la moyenne des valeurs  $y$ . Envisagez d'être invité à prédire une valeur  $y$  sans avoir aucune information supplémentaire sur ce que vous prédiriez. La moyenne des valeurs  $y$  serait votre meilleure estimation si votre objectif est de minimiser la différence au carré entre votre prédiction et la valeur  $y$  réelle.

Le numérateur du ratio serait alors la somme des carrés des erreurs du modèle ajusté. Le rapport indique le degré d'amélioration des paramètres du modèle par rapport à la prédiction du modèle nul. Plus ce rapport est petit, plus l'amélioration est importante et plus le  $R$  au carré est élevé.

$R$  au carré comme carré de la corrélation – Le terme «  $R$  au carré » est dérivé de cette définition.  $R$  au carré est le carré de la corrélation entre les valeurs prédites du modèle et les valeurs réelles. Cette corrélation peut aller de -1 à 1, et donc le carré de la corrélation va alors de 0 à 1. Plus l'amplitude de la corrélation entre les valeurs prédites et les valeurs réelles est grande, plus le  $R$  au carré est grand, que la corrélation est plus forte.

Pour choisir entre deux les deux modèles, nous pouvons aussi utiliser la statistique de la déviance ou la statistique du rapport de vraisemblance suivante est introduite par  $\Lambda = \frac{L}{L^*}$ . Le modèle est jugé "bon" si  $\Lambda$  est proche de 1 ou encore si  $\ln(\Lambda)$  est proche de 0. On note  $D$  la déviance. Elle peut être définie comme l'écart, entre la vraisemblance du modèle estimé  $L^*$  et celle du modèle saturé  $L$ .  $D = 2\ln\Lambda$

Le modèle est considéré comme bon au seuil  $\alpha = 0,05$  si :  $D_{observé} < \chi_{n-p-1;1-\alpha}^2$

Avec :  $\chi_{n-p-1;1-\alpha}^2$  est le quantile d'ordre  $1 - \alpha$  de la loi khi-deux à  $n - p - 1$  degrés de liberté.

L'idéal serait d'avoir  $D = 0$ , ce qui n'est jamais le cas, le modèle saturé étant un idéal inatteignable en pratique. Le modèle choisi est donc celui qui minimise la déviance.

Les critères AIC et SBC (Critère d'Akaïke et Critère de Schwartz), comme la déviance mesurent la qualité de l'ajustement d'un modèle linéaire généralisé. Si l'on considère un ensemble de modèles candidats, On préférera le modèle pour lequel ces critères ont la valeur la plus faible. Pour des bases de données de taille relativement faible, le modèle retenu sera celui qui minimise l'AIC ou le BSC.

Si l'on cherche à mieux formuler la fonction de la perte en rendement en fonction de l'indice RDI, il y a lieu de choisir le modèle qui nous offre une meilleure ajustabilité. Le modèle construit sur 10 ans est significativement meilleur que celui de 20 ans, nous allons de ce fait l'utiliser dans la suite de notre étude.

## 2. Test de l'hypothèse nulle et les paramètres du modèle

L'hypothèse H0 correspond au modèle indépendant qui donne les mêmes résultats quels que soient les valeurs des variables explicatives. Ce test permet de vérifier si le modèle ajusté est significativement meilleur que le modèle indépendant. Trois tests sont proposés : le test du rapport de vraisemblance (-2 Log (Vraisemblance)), le test du score et le test de Wald. Les trois statistiques suivent une distribution du khi<sup>2</sup> dont les degrés de liberté sont affichés.

**Tableau 16:** Test de l'hypothèse nulle

Test de l'hypothèse nulle H0 : Y=Constante							
		Blé dur		Blé tendre		Orge	
Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Vraisemblance)	1	10,355	<b>0,001</b>	8,260	<b>0,004</b>	14,665	<b>0,000</b>
Score	1	11,859	<b>0,001</b>	7,535	<b>0,006</b>	23,334	<b>&lt; 0,0001</b>
Wald	1	17,863	<b>&lt; 0,0001</b>	12,444	<b>0,000</b>	32,375	<b>&lt; 0,0001</b>

**Source :** Elaboré par nous même à partir de l'output de XLstat

Les règles de décision concernant la significativité du modèle considérant les statistiques : le test du rapport de vraisemblance (-2 Log (Vraisemblance)), le test du score et le test de Wald, les règles de décision sont :

On rejette H0 si : la statistique est supérieure à  $\chi^2_{1;1-\alpha}$  en d'autres termes p-value =  $Prob(\chi^2_{1;1-\alpha}) > \alpha$ .



Le degré de significativité est mesuré comme suit :

- "significatif" si p-value  $\in ]0.01, 0.05]$ ,
- "très significatif" si p-value  $\in ]0.001, 0.01]$ ,
- "hautement significatif" si p-value  $< 0.001$ .

L'estimation des paramètres, l'écart type, le Chi<sup>2</sup> de Wald, la p-value correspondante et l'intervalle de confiance sont affichés pour la constante et chaque variable des modèles.

**Tableau n° 17 : Test des paramètres des modèles**

**Tableau 17:** Test des paramètres des modèles

Paramètres des modèles						
Blé dur						
Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Wald Borne inf. (95%)	Wald Borne sup. (95%)
Constante	2,800	0,020	20051,597	< 0,0001	2,761	2,839
RDI Oct-Apr	0,109	0,026	17,863	< 0,0001	0,058	0,159
Echelle	273,432	122,283			33,763	513,102
Blé tendre						
Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Wald Borne inf. (95%)	Wald Borne sup. (95%)
Constante	2,443	0,043	3205,618	< 0,0001	2,358	2,527
RDI Oct-Apr	0,200	0,057	12,444	0,000	0,089	0,311
Echelle	57,512	25,720			7,101	107,922
Orge						
Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Wald Borne inf. (95%)	Wald Borne sup. (95%)
Constante	2,653	0,025	11425,602	< 0,0001	2,604	2,702
RDI Oct-Apr	0,183	0,032	32,375	< 0,0001	0,120	0,246
Echelle	173,500	77,592			21,423	325,576

**Source :** Elaboré par nous même à partir de l'output de XLstat

La statistique p-value observée pour les paramètres des nos 3 modèles montre une haute significativité sur un seuil de confiance de 5%.

**Equation du modèle :** Pour faciliter la lecture et pouvoir réutiliser les modèles, l'équation sont comme suit :

- Pour le blé dur :  $R_{BD} = e^{2,8+0,11X} = e^{2,8} e^{0,11X}$
- Pour le blé tendre :  $R_{BT} = e^{2,44+0,2X} = e^{2,44} e^{0,2X}$
- Pour l'orge :  $R_{OR} = e^{2,65+0,18X} = e^{2,65} e^{0,18X}$

Avec :

R = Prédiction rendement des céréales en fonction de l'indice RDI

X = L'indice RDI calculé sur la période (Oct-Apr).

BD pour le blé dur, BT pour le blé tendre et OR pour l'Orge.

## Sous-Section 2 : Identification de la fonction de la perte captée par l'indice

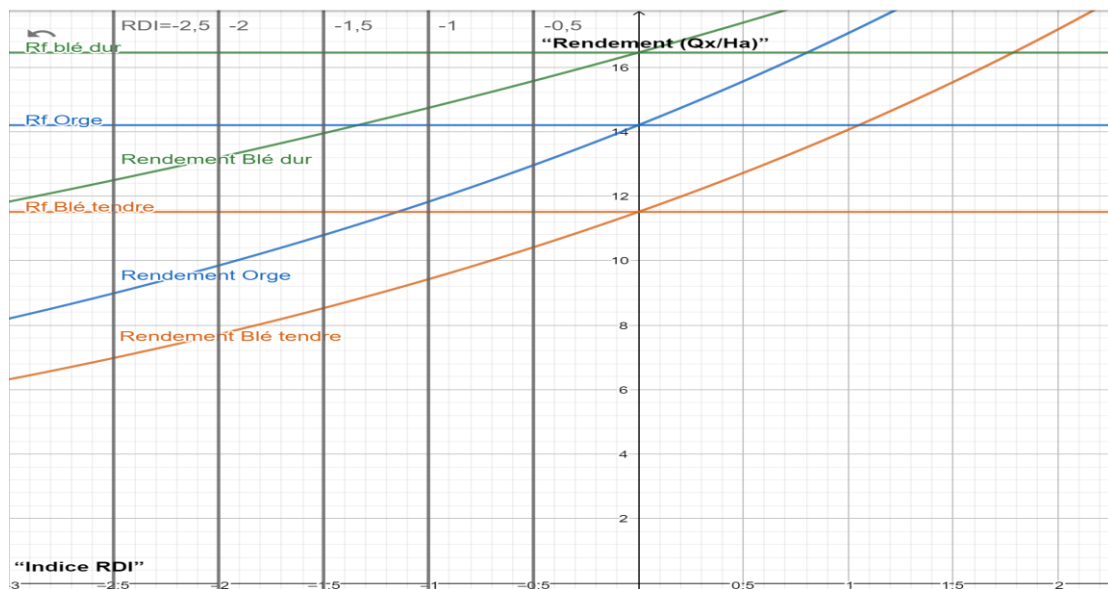
Après la validation des modèles, nous avons pris les équations des régressions pour déterminer la fonction du rendement des céréales en fonction de l'indice RDI afin d'établir des équations qui expriment la perte en rendement due à la sécheresse.

### 1. Identification des équations de rendement en fonction de l'indice

Les équations des modèles sont sous la forme  $R = e^{b+aX} = e^b e^{aX}$ . Avec  $R =$  Rendement et  $X =$  L'indice RDI, nous avons considéré  $e^b$  comme étant le rendement de référence noté  $R_f$ , c'est-à-dire le rendement des céréales lorsque l'indice RDI égale 0. En d'autres termes, lorsque  $e^{aX}$ , qui détermine la sensibilité du rendement par rapport à la sécheresse mesurée par l'indice RDI, noté  $S$ , est égale à 1. L'équation du rendement devient donc  $R = R_f * S$ .

La figure ci-dessus illustre la fonction de rendement des céréales d'hiver en fonction de l'indice RDI à Tiaret.

**Figure 23:**Equations du rendement des céréales d'hiver



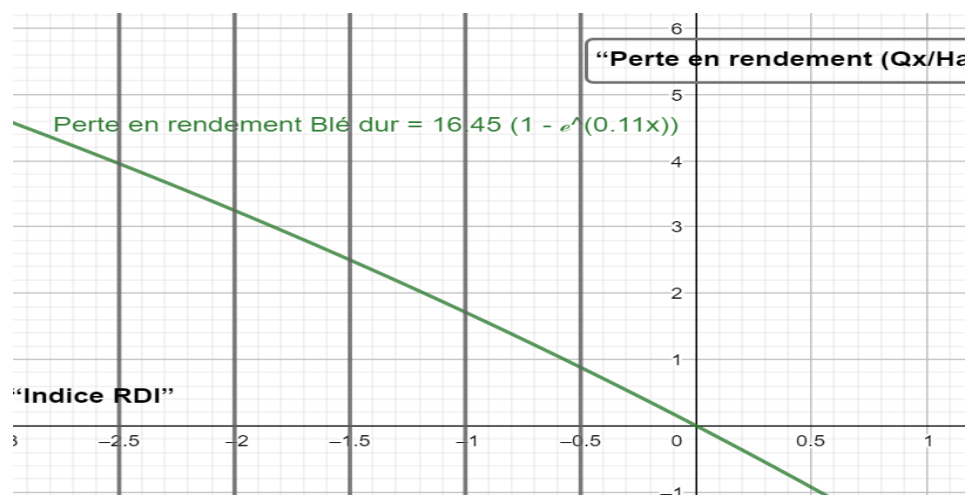
Source : Elaboré par nous même

Le rendement du blé dur (en vert) est formulé avec la fonction  $R_{BD} = e^{2.8+0.11X}$  avec  $R_f = 16.45 (Qx/Ha)$ , la fonction du rendement du blé tendre (en orange) est exprimée avec  $R_{BT} = e^{2.44+0.2X}$  ou  $R_f = 11.45 (Qx/Ha)$ . La fonction de rendement de l'orge (en bleu) est exprimée  $R_{OR} = e^{2.65+0.18X}$  avec  $R_f = 14.15(Qx/Ha)$ .

## 2. Détermination de la fonction de perte

Dans l'intérêt de déterminer la sévérité de la sécheresse mesurée par l'indice RDI. Nous avons utilisé l'équation du rendement et le rendement de référence de chaque type de céréale pour déterminer la fonction de perte notée P, qui n'est autre que la soustraction du rendement estimé par l'indice du rendement de référence  $P = R_f - R = R_f * (1 - S)$ .

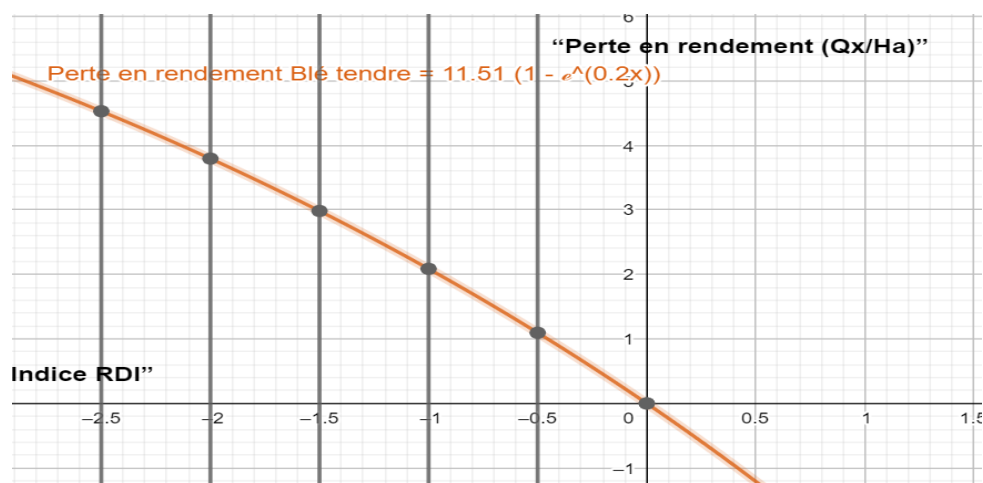
**Figure 24:**Equations de la perte en rendement blé dur



**Source :** Elaboré par nous même

La figure 24 illustre l'équation de la perte en rendement du blé dur.  $P_{BD} = 16.45 * (1 - e^{0.11x})$ . La perte est plus importante lorsque l'indice indique davantage de gravité de la sécheresse, un RDI = -2 impliquerait une perte de 3,22 quintaux de blé dur pour chaque hectare cultivé.

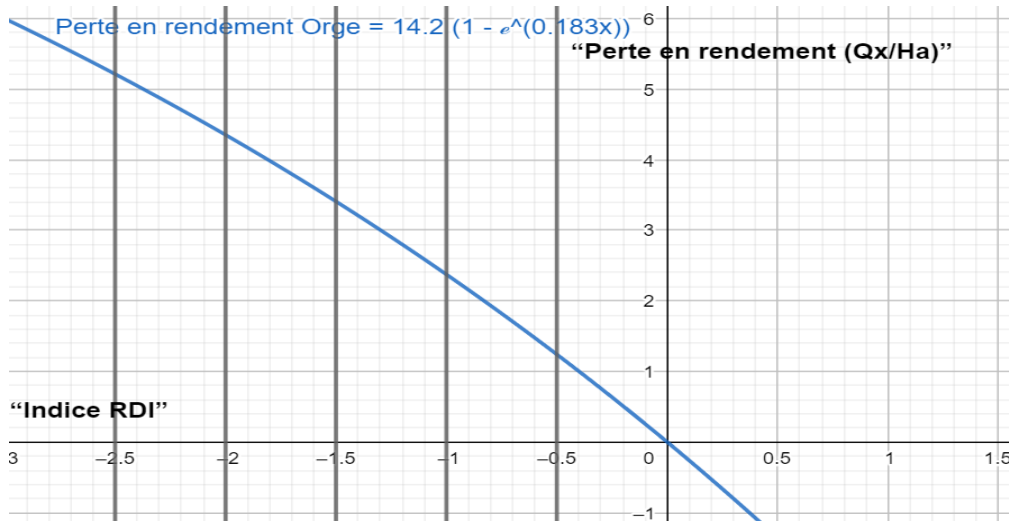
**Figure 25:**Equations de la perte en rendement blé tendre



**Source :** Elaboré par nous même

Le blé tendre est plus sensible à la sécheresse que le blé dur. L'équation de la perte en rendement du blé tendre est donc  $P_{BT} = 11.5 * (1 - e^{0.2x})$ . la perte occasionnée par un RDI = -2 est de presque 3,8 (Qx/Ha).

**Figure 26:**Equations de la perte en rendement orge



**Source :** Elaboré par nous même

La perte en rendement de l'orge est caractérisée par l'équation suivante :  $P_{OR} = 14.2 * (1 - e^{0.18x})$ , qui fait de l'orge la céréale la plus sensible aux déficit de pluviométrie, une perte de plus de 4,3 (Qx/Ha) peut être subie par l'agriculteur si le niveau de sécheresse dépasse le seuil de la sécheresse extrême.

### Sous-section 3 : Détermination de la fréquence de la sécheresse selon l'indice RDI

En tarification, les actuaires peuvent modéliser directement la charge pure, ou encore faire l'exercice en deux étapes, avec la fréquence et la sévérité. Dans ce qui suit nous allons déterminer les seuils de déclenchement du contrat selon l'intensité de la sécheresse l'indemnisation avant d'estimer leurs probabilité d'occurrence.

#### 1. Définition des seuils de déclenchement et des classes du contrat

Une classe du contrat correspond à un profil de risque précis qui caractérise la gravité ou la fréquence d'une sécheresse. Nous nous sommes inspirés de la classification proposée par (D. Tigkas 2013) pour définir les seuils de déclenchement des différents seuils de l'assurance indiciaire sécheresse agricole

## 2. Calcul des fréquences par niveau de sécheresse

L'indice RDI est une distribution normale standard comme illustré précédemment La probabilité d'occurrence des niveaux de sécheresse et donc leurs fréquences peuvent être calculé facilement Le tableau suivant montre le niveau de sécheresse et la classe de l'indice ainsi que leur fréquence.

**Tableau 18:**Fréquence de la sécheresse par niveau de contrat

Fréquence de la sécheresse par niveau de contrat				
	Niveau	Classe	loi normale standard	Probabilité
	4 Sécheresse extrême	$[(-2.5),(-2)[$	0,6%	1,65%
	3 Sécheresse sévère	$[(-2),(-1,5)[$	2,3%	4,41%
	2 Sécheresse modérée	$[(-1,5),(-1)[$	6,7%	9,18%
	1 Sécheresse légère	$[(-1),(-0,5)[$	15,9%	15,0%

**Source :** Elaboré par nous même

La sécheresse légère ou normale a une probabilité de survenance de 15%. La sécheresse modérée avec une probabilité de 9,18%, la sécheresse sévère et la sécheresse extrême surviennent respectivement avec une probabilité de 4,41% et 1,65%.

## Section 3 : Tarification de l'assurance indiciaire sécheresse agricole

L'objet de cette section est de calculer la prime pure à payer par l'agriculteur de Tiaret, assuré contre le risque de sécheresse agricole dans le cadre d'une assurance indiciaire sur la base de l'indice RDI. La classification de l'indice RDI nous a fourni les probabilités d'occurrence de chaque niveau de sécheresse. Cette classification va nous servir de base pour déterminer les classes du contrat ainsi que les seuils de déclenchement.

L'utilisation du modèle log-linéaire nous a permis de déterminer l'équation de la perte en rendement pour les types de céréales étudiés. L'indemnisation est fonction de l'indice RDI. La sévérité représente le sinistre moyen payé pour chaque niveau de sécheresse. Nous allons dans un premier temps déterminer la sévérité de la sécheresse sur le rendement des céréales d'hiver (Blé dur, Blé tendre et orge) à travers les équations de perte en rendement. Et ce sur les différentes classes du contrat. Ensuite nous allons procéder à la détermination des primes pures pour les trois types de céréales et selon différentes formules.

### Sous-section 1 : Estimation de la sévérité par niveau du contrat

Les équations de la fonction de la perte en rendement défini précédemment nous permettent d'estimer la valeur moyenne de la perte en rendement des céréales sur chaque niveau de sécheresse et donc chaque classe du contrat. La sévérité d'un niveau de sécheresse est définie en calculant l'aire sous la courbe représentant la fonction de perte par rapport à l'indice.

La formule de calcul est la suivante :

$$\text{Valeur de perte moyenne par interval } ]a; b[ = \mu = \frac{1}{b-a} \int_b^a P(X) dX$$

La sévérité par niveau de contrat sur les trois types de céréales est présentée dans les tableaux suivants :

**Tableau 19:**Sévérité par niveau de contrat Blé dur

<b>Sévérité par niveau de contrat (Blé dur)</b>			
<b>Contrat</b>	<b>Classe indice</b>	<b>Pertes moyenne <math>\mu</math> (Qx/Ha)</b>	<b>Limite Perte</b>
1	$[(-1),(-0,5)[$	<b>1,30</b>	1,70
2	$[(-1.5),(-1)[$	<b>2,11</b>	2,48
3	$[(-2),(-1,5)[$	<b>2,88</b>	3,22
4	$[(-2.5),(-2)[$	<b>3,61</b>	3,92

Source : Elaboré par nous même

**Tableau 20:**Sévérité par niveau de contrat Blé tendre

<b>Sévérité par niveau de contrat (Blé tendre)</b>			
<b>Contrat</b>	<b>Classe indice</b>	<b>Pertes moyenne <math>\mu</math> (Qx/Ha)</b>	<b>Limite Perte</b>
1	$[(-1),(-0,5)[$	<b>1,60</b>	2,08
2	$[(-1.5),(-1)[$	<b>2,54</b>	2,98
3	$[(-2),(-1,5)[$	<b>3,40</b>	3,79
4	$[(-2.5),(-2)[$	<b>4,17</b>	4,53

Source : Elaboré par nous même

**Tableau 21:**Sévérité par niveau de contrat Orge

<b>Sévérité par niveau de contrat (Orge)</b>			
<b>Contrat</b>	<b>Classe indice</b>	<b>Pertes moyenne <math>\mu</math> (Qx/Ha)</b>	<b>Limite Perte</b>
1	$[(-1),(-0,5)[$	<b>1,82</b>	2,38
2	$[(-1.5),(-1)[$	<b>2,90</b>	3,41
3	$[(-2),(-1,5)[$	<b>3,89</b>	4,36
4	$[(-2.5),(-2)[$	<b>4,79</b>	5,22

Source : Elaboré par nous même

Pour le blé dur, le blé tendre et l'orge. La perte moyenne en rendement, exprimée en (Qx/Ha), pour chaque classe de sécheresse est exprimée dans les tableaux. La colonne (Limite perte) désigne la perte occasionnée par la limite inférieure de la classe de contrat.

## **Sous-section 2 : Estimation de la prime pure par niveau de contrat**

Le calcul de la prime pure a pour but d'évaluer, pour chaque assuré, le montant attendu des sinistres qui sera d'abord exprimé en Quintal de céréales sur un hectare pour la période d'assurance couverte (Octobre à avril de la campagne agricole).

La prime pure sera calculée pour chaque classe de contrat et représente donc le produit de la probabilité d'occurrence de la classe en question et la sévérité qui exprime la perte en rendement due à la sécheresse.

Les tableaux suivants illustrent le calcul de la prime pure pour chaque niveau de sécheresse sur les trois types de céréales sur la wilaya de Tiaret :

**Tableau 22:**Prime pure par niveau de sécheresse blé dur

Calcul de la prime pure par niveau de sécheresse Blé dur							
Classe du contrat	Couverture indicielle	Probabilité	Pertes moyenne $\mu$ (Qx/Ha)	taux de prime	Prix Quintal Blé dur	Prime pure	cumulatif
1	[(-1),(-0,5)[	14,99%	1,30	19%	6 000 DZD	1 170 DZD	1 170 DZD
2	[(-1,5),(-1)[	9,18%	2,11	19%	6 000 DZD	1 164 DZD	2 333 DZD
3	[(-2),(-1,5)[	4,41%	2,88	13%	6 000 DZD	761 DZD	3 094 DZD
4	[(-2.5),(-2)[	1,65%	3,61	6%	6 000 DZD	358 DZD	3 452 DZD

Source : Elaboré par nous même

La fréquence et la sévérité des niveaux de sécheresse nous permet de calculer le taux de prime qui est un pourcentage du prix d'un quintal de la céréale, ainsi pour le blé dur à Tiaret, la couverture contre la sécheresse légère coûterait près de 1200 DZD soit 19% du prix d'un quintal de blé dur sur un hectare cultivé. Si l'assuré souhaite se couvrir contre toutes les classes, la prime pure serai de l'ordre de 3500 DZD.

**Tableau 23:**Prime pure par niveau de sécheresse blé tendre

Calcul de la prime pure par niveau de sécheresse Blé tendre							
Classe du contrat	Couverture indicielle	Probabilité	Pertes moyenne $\mu$ (Qx/Ha)	taux de prime	Prix Quintal Blé tendre	Prime pure	cumulatif
1	[(-1),(-0,5)[	14,99%	1,60	24%	5 000 DZD	1 198 DZD	1 198 DZD
2	[(-1,5),(-1)[	9,18%	2,54	23%	5 000 DZD	1 168 DZD	2 366 DZD
3	[(-2),(-1,5)[	4,41%	3,40	15%	5 000 DZD	748 DZD	3 114 DZD
4	[(-2.5),(-2)[	1,65%	4,17	7%	5 000 DZD	345 DZD	3 459 DZD

Source : Elaboré par nous même

Le blé tendre, dont le Quintal coute 5000 DZD, un peu moins que le blé dur 6000 DZD, est plus sensible à la sécheresse. Ce qui se traduit par un taux de prime, pour l'ensemble des niveaux de sécheresse, de 69% soit 3500 DZD.

**Tableau 24:**Prime pure par niveau de sécheresse Orge

Calcul de la prime pure par niveau de sécheresse Orge							
Classe du contrat	Couverture indicielle	Probabilité	Pertes moyenne $\mu$ (Qx/Ha)	taux de prime	Prix Quintal Orge	Prime pure	cumulatif
1	[(-1),(-0,5)[	14,99%	1,82	27%	3 400 DZD	926 DZD	926 DZD
2	[(-1,5),(-1)[	9,18%	2,90	27%	3 400 DZD	905 DZD	1 831 DZD
3	[(-2),(-1,5)[	4,41%	3,89	17%	3 400 DZD	582 DZD	2 414 DZD
4	[(-2.5),(-2)[	1,65%	4,79	8%	3 400 DZD	269 DZD	2 683 DZD

Source : Elaboré par nous même

L'exploitant d'une culture d'orge dans la wilaya de Tiaret devra payer une prime pure de 2700 DZD pour se couvrir contre le risque de sécheresse agricole sous tous ses niveaux.



Si nous proposons une formule où chaque niveau de sécheresse est considéré comme un contrat souscrit qui couvre uniquement la classe concernée, l'assuré qui choisit de souscrire le contrat 1 est couvert uniquement si l'indice se situe dans la classe -0,5 à -1 et est indemnisé par rapport à l'indice selon la fonction illustrée avant.

Cette formule offre une sorte de liberté pour l'agriculteur, qui pourra couvrir sa récolte contre le niveau de risque de sécheresse qu'il souhaite. Cette séparation permet aussi une facilité pour déterminer la subvention de l'État, Les pouvoirs publics peuvent potentiellement prendre en charge la sécheresse sévère et la sécheresse extrême dans le cadre de la gestion et la prévention des catastrophes naturelles.

### Sous-section 3 : Proposition de formules de souscription

Nous consacrons cette dernière partie à la proposition de deux autres formules de souscription, la proposition n'exclue pas la possibilité d'utilisation d'autres formules. Des exemples seront utilisés pour expliciter la formulation et l'intérêt.

La deuxième formule suppose que chaque contrat est souscrit individuellement et couvre toutes les classes concernées (niveau de sécheresse) ainsi que les classes inférieures avec une indemnisation maximum relative à la limite inférieure de la classe couverte.

**Tableau 25:**Prime pure selon la deuxième formule Blé dur

Calcul de la prime pure par niveau de sécheresse blé dur								
u	Couverture indicielle	Probabilité classe	Probabilité classe inférieure	Pertes moyenne $\mu$	Limite Perte	taux de prime	Prix Quintal Blé dur	Prime pure
1	-0,5 à -2,5	14,99%	15,24%	1,30	1,70	45%	6 000 DZD	2 720 DZD
2	-1 à -2,5	9,18%	6,06%	2,11	2,48	34%	6 000 DZD	2 064 DZD
3	-1,5 à -2,5	4,41%	1,65%	2,88	3,22	18%	6 000 DZD	1 080 DZD
4	-2 à -2,5	1,65%	0,50%	3,61	3,92	8%	6 000 DZD	358 DZD

**Source :** Elaboré par nous même

Si nous prenons l'exemple d'un agriculteur qui souscrit le contrat 1 (sécheresse légère) et l'indice survenu est dans la classe 1, l'indemnisation est calculée comme dans la première formule et si l'indice observé se situe dans classes inférieure l'indemnisation est limitée par la perte relative à l'indice de la borne inférieure de la classe du contrat souscrit, dans notre exemple 1,7 Qx/Ha pour le blé dur. La prime pure est donc 45% du prix du céréales soit 2720 DZD.

**Tableau 26:**Prime pure selon la deuxième formule Blé tendre

Calcul de la prime pure par niveau de sécheresse blé tendre								
u	Couverture indicielle	Probabilité classe	Probabilité classe inférieure	Pertes moyenne $\mu$	Limite Perte	taux de prime	Prix Quintal Blé tendre	Prime pure
1	-0,5 à -2,5	14,99%	15,24%	1,60	2,08	56%	5 000 DZD	2 787 DZD
2	-1 à -2,5	9,18%	6,06%	2,54	2,98	41%	5 000 DZD	2 071 DZD
3	-1,5 à -2,5	4,41%	1,65%	3,40	3,79	21%	5 000 DZD	1 062 DZD
4	-2 à -2,5	1,65%	0,50%	4,17	4,53	9%	5 000 DZD	458 DZD

**Source :** Elaboré par nous même

Dans un autre exemple, un exploitant d'une culture de blé tendre, qui accepte d'assumer seul le risque de sécheresse légère, peut souscrire un contrat de la première formule (Tableau 22-23-24), pour couvrir l'ensemble des classes inférieures. La formule 2 lui propose un contrat qui couvre la sécheresse modérée, sévère et extrême avec une limite d'indemnisation de 3 Quintal par Hectare.

**Tableau 27:**Prime pure selon la deuxième formule Orge

Calcul de la prime pure par niveau de sécheresse blé tendre								
u	Couverture indicielle	Probabilité classe	Probabilité classe inférieure	Pertes moyenne $\mu$	Limite Perte	taux de prime	Prix Quintal Orge	Prime pure
1	-0,5 à -2,5	14,99%	15,24%	1,82	2,38	63%	3 400 DZD	2 158 DZD
2	-1 à -2,5	9,18%	6,06%	2,90	3,41	47%	3 400 DZD	1 609 DZD
3	-1,5 à -2,5	4,41%	1,65%	3,89	4,36	24%	3 400 DZD	827 DZD
4	-2 à -2,5	1,65%	0,50%	4,79	5,22	11%	3 400 DZD	358 DZD

**Source :** Elaboré par nous même

Un autre cultivateur d'orge, qui souhaite couvrir uniquement le risque sécheresse légère et modérée avec une limite d'indemnisation de 2,4 (Qx/Ha) peut choisir cette formule, la prime pure se calcule ainsi  $Prime\ pure\ (Classe_j) = Prob(Classe_j) * \mu_j + \sum_{j+1}^4 Prob(Classe) * Max(P_j)$ . La prime pure est donc  $Prime\ pure = 0,15 * 1,82 + 0,06 * 2,38$  soit 41% du prix de quintal de l'orge soit 1400 DZD.

La troisième formule est inspirée des deux précédentes pour proposer un seul contrat à souscrire avec des extensions qui permet d'augmenter la limite de l'indemnisation d'être indemnisé à hauteur de la perte limite de l'intervalle de l'extension. Une illustration et des exemples seront illustrés dans les tableaux suivants :

**Tableau 28:Prime pure selon la troisième formule Blé dur**

<b>Calcul de la prime pure selon la formule 3 Blé dur</b>				
	<b>taux de prime</b>	<b>Prix quintal blé dur</b>	<b>Prime pure</b>	<b>cumulatif</b>
Contrat de base	45%	6 000 DZD	2 720 DZD	2 720 DZD
Extension 1	9%	6 000 DZD	513 DZD	3 234 DZD
Extension 2	3%	6 000 DZD	180 DZD	3 413 DZD
Extension 3	1%	6 000 DZD	39 DZD	3 452 DZD

**Source :** Elaboré par nous même

Le contrat de base de base pour le blé dur à Tiaret couvre l'assuré contre tous les niveaux de sécheresse, l'indemnisation est en fonction de l'indice s'il se situe dans l'intervalle de la sécheresse légère et limité à 1,7 (Qx/Ha) si l'indice franchi le seuil de (-1), l'extension 1 lui permet d'élargir la couverture à la sécheresse modérée et être indemnisé à hauteur 2,48 (Qx/Ha) pour 513 DZD de plus par hectare exploité.

**Tableau 29:Prime pure selon la troisième formule Blé tendre**

<b>Calcul de la prime pure selon la formule 3 Blé tendre</b>				
	<b>taux de prime</b>	<b>Prix quintal blé tendre</b>	<b>Prime pure</b>	<b>cumulatif</b>
Contrat de base	56%	5 000 DZD	2 787 DZD	2 787 DZD
Extension 1	10%	5 000 DZD	482 DZD	3 269 DZD
Extension 2	3%	5 000 DZD	159 DZD	3 427 DZD
Extension 3	1%	5 000 DZD	31 DZD	3 459 DZD

**Source :** Elaboré par nous même

Pour un exploitant de blé tendre à Tiaret, la prime pure pour un contrat de base 2790 DZD l'Hectare, pour couvrir sa récolte contre la perte résultante de la sécheresse modérée et sévère achètera l'extension 1 et 2 pour près de 700 DZD par hectare

**Tableau 30:Prime pure selon la troisième formule Orge**

<b>Calcul de la prime pure selon la formule 3 Orge</b>				
	<b>taux de prime</b>	<b>Prix quintal Orge</b>	<b>Prime pure</b>	<b>cumulatif</b>
Contrat de base	63%	3 400 DZD	2 158 DZD	2 158 DZD
Extension 1	11%	3 400 DZD	376 DZD	2 535 DZD
Extension 2	4%	3 400 DZD	124 DZD	2 659 DZD
Extension 3	1%	3 400 DZD	24 DZD	2 683 DZD

**Source :** Elaboré par nous même

Un contrat de base avec l'achat des trois extensions est équivalent à l'achat des 4 contrats de la première formule, l'assuré couvre son rendement contre tous les niveaux de sécheresse à hauteur d'une perte maximale indiquée par un indice RDI =-2,5.

## Conclusion

Une fois le risque identifié et bien cerné, La sélection des variables météorologiques, L'étude de l'éligibilité de la région de Tiaret effectuée au début du chapitre peut servir de base dans le choix des régions pilotes de ce nouveau produit.

La construction de l'indice RDI, dont le choix de la période de calcul a été déterminé par le cycle biologique de la plante ainsi que des caractéristiques climatiques qui détermine la période assurable dans une région donnée toujours dans un but de minimisation du risque de base. L'indice RDI, en plus de son adéquation aux études statistiques, a répondu donc aux exigences de la mise en place d'une assurance indicielle « sécheresse agricole ».

La construction des variables explicatives et la variable réponse, au bon format, ont facilité la mise en place d'une régression log-linéaire pour l'identification de la sensibilité du rendement face aux observations de l'indice RDI dans le but de mesurer la sévérité en vue de la proposition d'un modèle de tarification.

En contribuant à gérer le risque climatique, le projet entend soutenir et accompagner l'agriculteur en lui offrant une mesure de soutien en améliorant sa capacité de résilience face à la sécheresse agricole. Ce qui se traduit par un impact positif sur la stabilité de ces revenus facilitant l'octroi du crédit favorisant l'investissement dans et le développement du secteur.

La proposition des plusieurs formulation des contrats pourrait définir l'intervention du soutien de l'Etat visant à offrir la meilleure couverture possible au producteur agricole pour le conforter dans sa fonction de production.

Il s'agit de passer d'une situation où l'Etat venait en aide aux agriculteurs ayant subi des dommages causés par des risques de sécheresse non assurable à un système d'assurance indicielle des risques agricoles encadré et appuyé.

## Conclusion générale

L'examen du contexte géoclimatique, économique et organisationnel du secteur agricole nous a permis de mettre en évidence sa vulnérabilité face au climat, cette vulnérabilité est synonyme de fortes amplitudes de production observées ces dernières années des fluctuations inter notables liées au paramètre climatique qu'il est difficile à maîtriser.

Malgré d'importants investissements, les performances de l'agriculture algérienne restent toutefois fortement dépendantes des pluies, compte tenu de la prédominance de l'agriculture pluviale. Les agriculteurs sont face à une situation de vulnérabilité au déficit hydrique qui risque de pérenniser face à cette situation d'absence de mesures de soutien à la gestion du risque. Le risque de la sécheresse agricole est considéré comme non assurable et devant l'ampleur des dommages causés aux exploitations agricoles et l'importance du secteur agricole dans la politique de l'Etat. La gestion des risques doit être considérée comme un aspect essentiel dans le plan de développement et de résilience du secteur.

L'assurabilité de ce risque est limitée par des contraintes d'asymétrie d'informations et des coûts d'acquisition d'information ou d'expertises et nécessite l'adoption d'un modèle innovant éliminant ces contraintes. L'assurance indiciaire est venue combler les lacunes de l'assurance traditionnelle en offrant un business model avantageux pour toutes les parties prenantes dans la couverture de ce risque.

La revue de travaux sur la modélisation de détection et mesure de la sécheresse dans une logique d'identifier et de comprendre le risque auquel est confrontée l'agriculture. Nous avons trouvé des indices dont L'indice RDI, Calculé à partir de valeurs climatiques qui caractérisent le risque de la sécheresse agricole. Le RDI offre des représentations numériques appartenant à des classes indiquant l'intensité de la sécheresse agricole et sa probabilité de survenance offrant ainsi le premier ingrédient pour la tarification.

La mise en place d'une régression log-linéaire construite avec l'indice RDI comme variable explicative et le rendement comme la variable réponse, au bon format, ont facilité l'identification de la sensibilité du rendement face aux observations de l'indice RDI, ce qui a permis de mesurer la sévérité de modéliser la perte en rendement indemnisable.

La classification de l'indice RDI sur plusieurs niveaux caractérisant la gravité de la sécheresse agricole a été très utile dans l'élaboration de formule de souscriptions et leurs méthodes de tarification.

Ce projet d'insère dans le cadre d'un mémoire de fin d'études, la méthodologie suivie a démontré son efficacité dans la wilaya de Tiaret, le choix d'un indice établi par des experts dans la matière dont les travaux sont de plus performants permettant une meilleure compréhension et modélisation des phénomènes à caractères climatiques

La réalisation d'une étude de faisabilité s'impose pour encore minimiser le risque de base. Une bonne segmentation des zones géographiques tenant compte de la culture exploitée, l'étage climatique, des moyens d'irrigations et une étude sur les conditions de mise en œuvre de l'assurance indicielle. Afin de trouver la couverture la plus robuste et adéquate pour protéger les agriculteurs en Algérie.

De ces conditions il convient de retenir :

Les étapes à respecter dans le cadre d'un programme pilote (limiter dans un premier temps l'expérimentation à une culture et à quelques régions avant sa généralisation).

La conception d'un dispositif organisationnel de distribution en identifiant les attributions de chacune des parties prenantes.

Le suivie et l'évaluation de programme sur le plan technique, organisationnel ou financier en vue de procéder éventuellement aux réajustements.

# Annexes

## Annexe 1: Dispositif d'Assurance des Calamités Agricoles

### Dispositif d'assurance des calamités agricoles (DACA)

Inscrite en 1998 sous l'intitulé « Étude sur l'assurance sécheresse agricole », cette étude a été suspendue en 1999 du fait de l'indisponibilité de ressources.

Compte tenu de son importance, elle est reprise dans le PMT 2003-2007 aux côtés de l'étude portant amélioration des produits en assurance agricole.

Après une séance de travail tenue en décembre 2004 avec une délégation espagnole, le directeur des assurances, un cadre du ministère de l'Agriculture et les cadres du SP CNA, l'étude est inscrite dans le programme d'actions de 2005 sous l'intitulé « Étude sur l'assurance calamités agricoles », avec comme objectifs :

- Compléter le dispositif d'assurance des catastrophes naturelles par des couvertures spécifiques adaptées aux risques agricoles ;
- Favoriser le développement des assurances agricoles.

L'étude « Amélioration des produits en assurance agricole » ayant également été inscrite avec l'objectif de favoriser le développement des Assurances agricoles, ses activités ont été intégrées dans le projet « DACA ».

La conception d'un dispositif d'assurance des calamités agricoles nécessitant une concertation avec l'ensemble des parties concernées, assureurs, agriculteurs, pouvoirs publics, et autres acteurs importants, un Comité d'orientation a été mis en place et les termes de références adoptés. Plusieurs rapports ont été élaborés et soumis à ce comité.

Les travaux qui devaient aboutir fin 2005, se sont, en fait, heurtés à un certain nombre de difficultés liés à l'impossible quantification des risques mais aussi à une divergence d'approche.

Une deuxième piste est alors envisagée par l'équipe du CNA.

Sur la base d'une réflexion engagée par un groupe de travail incluant des assureurs mais aussi en s'appuyant sur les principes dégagés des différentes orientations, les travaux sont

orientés vers la conception d'un cadre juridique permettant de :

- Rendre assurables les calamités agricoles ;
- Mettre en place une banque de données sur les risques agricoles ; Améliorer
- l'accessibilité à l'assurance des risques agricoles.

Ainsi, un avant-projet de texte fondateur est conçu et soumis à la discussion des membres du Comité d'orientation en avril 2007.

En 2007, le Comité d'orientation a tenu 17 réunions dont dix organisées en une seule session ouverte. Un sous-groupe de travail issu du Comité d'orientation et constitué des membres ayant une expérience des techniques d'assurance agricole s'est réuni à plusieurs reprises (entre deux réunions du CO) pour débattre de la réécriture des articles liés aux techniques d'assurance et de réassurance.

L'avant-projet de loi portant dispositif d'assurance des calamités agricoles (DACA) est adopté par le Comité d'orientation le 31 décembre 2007 avec délégation de l'habillage juridique à un sous-groupe.

L'avant-projet de loi a été transmis en juin 2008 aux Ministères chargés des Finances et de l'Agriculture accompagné des pièces suivantes :

- L'exposé des motifs,
- Un rapport de synthèse des travaux du Secrétariat permanent du CNA sur cette question,
- Une présentation du dispositif proposé.

Les travaux menés sont présentés à la commission juridique du CNA en octobre 2008.

Après une première recommandation d'ordre général, la Commission juridique a consacré, en 2009, toute une session à l'examen de l'avant-projet de loi portant dispositif d'assurance des calamités agricoles et a écouté l'avis des représentants des différents acteurs (MADR, MF, CCR et UAR) avant de confier au SP-CNA, le soin de réunir à nouveau le Comité d'orientation en vue de préparer les textes d'application et permettre d'avoir une visibilité sur le dispositif dans son ensemble.

A fin 2009, les différentes institutions (Ministères des Finances et de l'Agriculture, CCR, UAR, Union des agronomes, Chambre nationale d'agriculture et CREAD) constituant le Comité d'orientation communiquent les noms de leurs représentants (permanents et suppléants).



Courant 2010, le Comité d'orientation, après avoir pris connaissance des recommandations de la Commission juridique du CNA, a tenu quatre sessions.

La PREMIERE SESSION de ce Comité a été consacrée à l'examen puis l'adoption de termes de référence.

Très vite, il est apparu que bien qu'officiellement désignés par leurs institutions respectives, il était difficile d'obtenir des membres du CO un avis institutionnel écrit susceptible d'orienter clairement les travaux du Secrétariat permanent du CNA. Aussi, le recrutement d'un consultant pour l'élaboration des avants projets de textes'est avéré nécessaire.

Les travaux de la DEUXIEME SESSION se sont donc appuyés sur une proposition de texte relatif à l'APRA élaborée par le consultant sur la base du projet de texte initié en 2007.

Ce premier projet de texte d'application a suscité de longs et fructueux débats au sein du Comité d'orientation qui a adopté son contenu avant de confier l'habillage juridique à un sous-groupe.

L'avant-projet de décret relatif à l'APRA est adopté par le CO le 22 juin et par la Commission juridique du CNA, le 29 juin 2010 :

« Au terme de l'examen de l'avant-projet de décret fixant l'organisation, les missions et les modalités de fonctionnement de l'Agence de prévention des risques agricoles (APRA), les membres de la Commission juridique approuvent son contenu avec de légères modifications et recommandent au Comité d'orientation de poursuivre leurs travaux sur les deux autres textes d'application de l'avant-projet de loi portant dispositif d'assurance des calamités agricoles. »

Après deux séances de la TROISIEME SESSION dédiée à l'examen des modalités liées à la contribution de l'Etat et suite à l'éclairage des représentants de la Direction générale du budget du ministère des Finances, le retour vers la Commission juridique's'est imposé pour étudier l'opportunité de l'élaboration d'un texte spécifique réservé au volet financier du dispositif.

Une autre approche est donc retenue faisant l'économie d'un texte et apportant quelques modifications sur l'avant-projet de Loi ainsi que sur l'avant-projet de décret relatif à l'APRA qui est chargée de la gestion de cette contribution :

« Après avoir pris connaissance des éclairages obtenus auprès des représentants de la

**Direction générale du budget, les membres de la Commission juridique :**

- **Approuvent la suggestion de faire l'économie d'un texte spécifique aux modalités liées à la contribution ;**
- **Prendent acte des modifications apportées à l'avant-projet de loi telles que révisées ;**
- **Mandent le Secrétaire afin de vérifier le point relatif à la déclaration d'état de calamité agricole ;**
- **Chargent le Comité d'orientation de poursuivre le suivi de l'élaboration du dernier texte d'application. »**

**La QUATRIEME ET DERNIERE SESSION du Comité d'orientation a été consacrée à l'élaboration, par un sous-groupe technique, de l'avant-projet de décret relatif à la réassurance du dispositif adopté par les membres du CO lors de la séance du 30 novembre 2010 et par la Commission juridique le 21 décembre 2010 avec adoption de la recommandation suivante :**

**« Après examen de l'avant-projet de décret relatif aux conditions et modalités de réassurance du dispositif d'assurance des calamités agricoles et de la garantie de l'Etat et des articles révisés de l'avant-projet de loi portant dispositif d'assurance des calamités agricoles, les membres de la Commission juridique :**

- **Approuvent le contenu de l'avant-projet de décret avec quelques modifications ;**
- **Prendent acte des modifications apportées aux articles 3, 4, 9 et 15 de l'avant-projet de loi ;**
- **Mandent le Secrétaire afin de présenter le projet de dispositif dans son ensemble à la prochaine Assemblée générale du CNA. »**

**Résolution du CNA (session AG n°21 du 17/04/2012) :**

**[...] – Adopte le projet de dispositif d'Assurance des Calamités Agricoles et Demande au Secrétaire du CNA de le transmettre au Ministère des Finances en vue de prendre en charge l'enrichissement de ce projet et d'entamer la procédure inhérente à ce type de textes légaux ;**

**Source :** <https://cna.dz/ispositif-dassurance-des-calamites-agricoles-daca/07/04/2012/>

## Annexe 2: Régression Gamma Blé dur RDI 20 ans

### Régression de la variable BD :

Coefficients d'ajustement (Variable BD) :

Statistique	Indépendant	Complet
Observations	20	20
Somme des carrés	20,000	20,000
DDL	19	18
-2 Log(Likelihood)	111,149	104,715
R <sup>2</sup> (McFadden)	0,000	0,058
R <sup>2</sup> (Cox and Snell)	0,000	0,275
R <sup>2</sup> (Nagelkerke)	0,000	0,276
AIC	115,149	110,715
SBC	117,141	113,702
Déviante	1,647	1,198
Khi <sup>2</sup> de Pearson	1,387	1,074
Itérations	0	11

Test de l'hypothèse nulle H0 : Y=Constante (Variable BD)

Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Likelihood)	1	6,435	0,011
Score	1	12,223	0,000
Wald	1	7,342	0,007

Analyse de Type II (Variable BD)

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
RDI Oct-Apr	1	6,435	0,011

Paramètres du modèle pour les composantes (Variable BD) :

Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Limite inf. (95%)	Limite sup. (95%)
Constante	2,607	0,055	2233,113	< 0,0001	2,499	2,716
RDI Oct-Apr	0,144	0,053	7,342	0,007	0,040	0,248
Echelle	16,853	5,330			6,408	27,299

Equation du modèle pour les composantes (Variable BD) :

$$\text{Préd(BD)} = \exp(2,60739819556216 + 0,14382777702032 * \text{RDI Oct-Apr})$$

Matrice de covariance :

	Constante	RDI Oct-Apr
Constante	0,003	0,000
RDI Oct-Apr	0,000	0,003

Prédictions et résidus (Variable BD) :

Observation	Poids	RDI Oct-Apr	BD	Préd(BD)	Indépendant	BD/Poids	Préd(BD)/Poids	Résidu std.	Résidu (Indépendant inférieure et supérieure)
1999-2000	1	-1,5565461	9,259	10,843	14,048	9,259	10,843	-0,146	-1,262 8,802 13,358
2000-2001	1	-0,7985834	10,894	12,092	14,048	10,894	12,092	-0,099	-0,831 10,444 14,000
2001-2002	1	-1,321546	7,963	11,216	14,048	7,963	11,216	-0,290	-1,603 9,293 13,536
2002-2003	1	-0,4245797	12,258	12,760	14,048	12,258	12,760	-0,039	-0,472 11,281 14,433
2003-2004	1	1,10757518	15,182	15,906	14,048	15,182	15,906	-0,046	0,299 13,761 18,386
2004-2005	1	1,51944172	12,100	16,877	14,048	12,100	16,877	-0,283	-0,513 14,143 20,139
2005-2006	1	-0,200045	10,926	13,179	14,048	10,926	13,179	-0,171	-0,823 11,767 14,761
2006-2007	1	1,12518263	10,983	15,946	14,048	10,983	15,946	-0,311	-0,808 13,778 18,455
2007-2008	1	-0,9010883	6,189	11,915	14,048	6,189	11,915	-0,481	-2,071 10,214 13,899
2008-2009	1	2,81475806	16,633	20,333	14,048	16,633	20,333	-0,182	0,681 15,131 27,324
2009-2010	1	0,35467276	16,850	14,274	14,048	16,850	14,274	0,181	0,738 12,805 15,910
2010-2011	1	-0,4723084	13,800	12,673	14,048	13,800	12,673	0,089	-0,065 11,176 14,371
2011-2012	1	0,86216712	19,001	15,354	14,048	19,001	15,354	0,238	1,305 13,496 17,469
2012-2013	1	1,58843386	19,504	17,045	14,048	19,504	17,045	0,144	1,438 14,202 20,457
2013-2014	1	0,20646422	16,117	13,973	14,048	16,117	13,973	0,153	0,545 12,557 15,548
2014-2015	1	-0,2731613	16,026	13,041	14,048	16,026	13,041	0,229	0,521 11,611 14,647
2015-2016	1	-0,58198	17,537	12,475	14,048	17,537	12,475	0,406	0,919 10,931 14,236
2016-2017	1	-0,4847643	15,649	12,650	14,048	15,649	12,650	0,237	0,422 11,148 14,355
2017-2018	1	1,17576671	18,590	16,063	14,048	18,590	16,063	0,157	1,197 13,829 18,658
2018-2019	1	-0,4195068	15,503	12,770	14,048	15,503	12,770	0,214	0,383 11,293 14,440

Source : Output de XLSTAT

### Annexe 3: Régression Gamma Blé tendre RDI 20 ans

#### Régression de la variable BT :

Coefficients d'ajustement (Variable BT) :

Statistique	Indépendant	Complet
Observations	20	20
Somme des $\chi^2$	20,000	20,000
DDL	19	18
-2 Log(Vraie)	108,206	98,108
R <sup>2</sup> (McFadden)	0,000	0,093
R <sup>2</sup> (Cox and Snell)	0,000	0,396
R <sup>2</sup> (Nagelkerk)	0,000	0,398
AIC	112,206	104,108
SBC	114,198	107,096
Déviante	2,675	1,629
Khi <sup>2</sup> de Pears	2,058	1,495
Itérations	0	12

Test de l'hypothèse nulle H0 : Y=Constante (Variable BT)

Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Vraie Score)	1	10,098	0,001
Wald	1	12,457	0,000

Analyse de Type II (Variable BT)

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
RDI Oct-Apr	1	10,098	0,001

Paramètres du modèle pour les composantes (Variable BT) :

Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Limite inf. (5%)	Limite sup. (95%)
Constante	2,284	0,064	1262,673	< 0,0001	2,158	2,410
RDI Oct-Apr	0,227	0,064	12,457	0,000	0,101	0,353
Echelle	12,444	3,935			4,731	20,157

Equation du modèle pour les composantes (Variable BT) :

$$\text{Préd(BT)} = \exp(2,28407982532349 + 0,226734126428796 * \text{RDI Oct-Apr})$$

Matrice de covariance :

	Constante	RDI Oct-Apr
Constante	0,004	-0,001
RDI Oct-Apr	-0,001	0,004

Prédictions et résidus (Variable BT) :

Observation	Poids	RDI Oct-Apr	BT	Préd(BT)	Indépendant	BT/Poids	Préd(BT)/Poids	Résidu	std. Résidu	Indépendante inférieure	Indépendante supérieure
1999-2000	1	-1,5565461	3,810	6,897	10,463	3,810	6,897	-0,448	-1,932	5,372	8,856
2000-2001	1	-0,7985834	8,000	8,191	10,463	8,000	8,191	-0,023	-0,715	6,885	9,745
2001-2002	1	-1,321546	5,609	7,275	10,463	5,609	7,275	-0,229	-1,410	5,811	9,108
2002-2003	1	-0,4245797	13,290	8,916	10,463	13,290	8,916	0,491	0,821	7,714	10,305
2003-2004	1	1,10757518	11,389	12,619	10,463	11,389	12,619	-0,097	0,269	10,628	14,983
2004-2005	1	1,51944172	12,000	13,854	10,463	12,000	13,854	-0,134	0,446	11,220	17,107
2005-2006	1	-0,2000045	7,578	9,381	10,463	7,578	9,381	-0,192	-0,838	8,217	10,711
2006-2007	1	1,12518263	10,364	12,669	10,463	10,364	12,669	-0,182	-0,029	10,654	15,066
2007-2008	1	-0,9010883	3,923	8,003	10,463	3,923	8,003	-0,510	-1,899	6,664	9,610
2008-2009	1	2,81475806	12,325	18,584	10,463	12,325	18,584	-0,337	0,541	13,019	26,527
2009-2010	1	0,35467276	13,000	10,639	10,463	13,000	10,639	0,222	0,737	9,375	12,073
2010-2011	1	-0,4723084	9,400	8,820	10,463	9,400	8,820	0,066	-0,309	7,607	10,226
2011-2012	1	0,86216712	16,012	11,936	10,463	16,012	11,936	0,342	1,611	10,252	13,896
2012-2013	1	1,58843386	15,498	14,073	10,463	15,498	14,073	0,101	1,462	11,317	17,500
2013-2014	1	0,20646422	9,614	10,287	10,463	9,614	10,287	-0,065	-0,247	9,084	11,649
2014-2015	1	-0,2731613	14,000	9,227	10,463	14,000	9,227	0,517	1,027	8,054	10,571
2015-2016	1	-0,58198	10,297	8,603	10,463	10,297	8,603	0,197	-0,048	7,361	10,055
2016-2017	1	-0,4847643	10,417	8,795	10,463	10,417	8,795	0,184	-0,014	7,579	10,206
2017-2018	1	1,17576671	13,243	12,816	10,463	13,243	12,816	0,033	0,807	10,729	15,309
2018-2019	1	-0,4195068	9,501	8,926	10,463	9,501	8,926	0,064	-0,280	7,725	10,313

Source : Output de XLSTAT

## Annexe 4: Régression Gamma Orge RDI 20 ans

### Régression de la variable OR :

Coefficients d'ajustement (Variable OR) :

Statistique	Indépendant	Complet
Observation:	20	20
Somme des carrés	20,000	20,000
DDL	19	18
-2 Log(Vraisemblance)	111,680	98,666
R <sup>2</sup> (McFadden)	0,000	0,117
R <sup>2</sup> (Cox and Snell)	0,000	0,478
R <sup>2</sup> (Nagelkerke)	0,000	0,480
AIC	115,680	104,666
SBC	117,672	107,653
Déviante	2,097	1,103
Khi <sup>2</sup> de Pearson	1,704	0,989
Itérations	0	12

Test de l'hypothèse nulle H0 : Y=Constante (Variable OR)

Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Vraisemblance)	1	13,015	0,000
Score	1	8,083	0,004
Wald	1	17,444	< 0,0001

Analyse de Type II (Variable OR)

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
RDI Oct-Apr	1	13,015	0,000

Paramètres du modèle pour les composantes (Variable OR) :

Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Limite inf. (95%)	Limite sup. (95%)
Constante	2,484	0,053	2198,747	< 0,0001	2,380	2,588
RDI Oct-Apr	0,216	0,052	17,444	< 0,0001	0,115	0,318
Echelle	18,302	5,788			6,959	29,646

Equation du modèle pour les composantes (Variable OR) :

$$\text{Préd(OR)} = \exp(2,48378314278443 + 0,216173702929147 * \text{RDI Oct-Apr})$$

Matrice de covariance :

	Constante	RDI Oct-Apr
Constante	0,003	0,000
RDI Oct-Apr	0,000	0,003

Prédictions et résidus (Variable OR) :

Observation	Poids	RDI Oct-Apr	OR	Préd(OR)	Indépendant	OR/Poids	Préd(OR)/Poids	Résidu std.	Limite inf. (95%)	Limite sup. (95%)	
1999-2000	1	-1,5565461	6,441	8,562	12,737	6,441	8,562	-0,248	-1,651	6,992	10,484
2000-2001	1	-0,7985834	9,586	10,086	12,737	9,586	10,086	-0,050	-0,826	8,754	11,621
2001-2002	1	-1,321546	6,206	9,008	12,737	6,206	9,008	-0,311	-1,712	7,506	10,810
2002-2003	1	-0,4245797	12,588	10,935	12,737	12,588	10,935	0,151	-0,039	9,712	12,313
2003-2004	1	1,10757518	13,499	15,229	12,737	13,499	15,229	-0,114	0,200	13,239	17,519
2004-2005	1	1,51944172	15,700	16,647	12,737	15,700	16,647	-0,057	0,777	14,026	19,758
2005-2006	1	-0,200045	10,094	11,479	12,737	10,094	11,479	-0,121	-0,693	10,294	12,801
2006-2007	1	1,12518263	10,949	15,287	12,737	10,949	15,287	-0,284	-0,469	13,273	17,607
2007-2008	1	-0,9010883	5,388	9,865	12,737	5,388	9,865	-0,454	-1,927	8,499	11,450
2008-2009	1	2,81475806	15,711	22,027	12,737	15,711	22,027	-0,287	0,780	16,522	29,366
2009-2010	1	0,35467276	14,817	12,942	12,737	14,817	12,942	0,145	0,545	11,661	14,363
2010-2011	1	-0,4723084	11,695	10,823	12,737	11,695	10,823	0,081	-0,273	9,588	12,218
2011-2012	1	0,86216712	17,353	14,442	12,737	17,353	14,442	0,202	1,210	12,753	16,356
2012-2013	1	1,58843386	19,649	16,897	12,737	19,649	16,897	0,163	1,812	14,157	20,169
2013-2014	1	0,20646422	13,503	12,534	12,737	13,503	12,534	0,077	0,201	11,312	13,887
2014-2015	1	-0,2731613	15,309	11,299	12,737	15,309	11,299	0,355	0,674	10,105	12,635
2015-2016	1	-0,58198	14,268	10,570	12,737	14,268	10,570	0,350	0,401	9,304	12,007
2016-2017	1	-0,4847643	12,756	10,794	12,737	12,756	10,794	0,182	0,005	9,556	12,193
2017-2018	1	1,17576671	16,931	15,455	12,737	16,931	15,455	0,095	1,100	13,371	17,865
2018-2019	1	-0,4195068	12,299	10,947	12,737	12,299	10,947	0,123	-0,115	9,725	12,324

Source : Output de XLSTAT

## Annexe 5: Régression Gamma Blé dur RDI 10 ans

### Régression de la variable BD :

Coefficients d'ajustement (Variable BD) :

Statistique	Indépendant	Complet
Observations	10	10
Somme des poids	10,000	10,000
DDL	9	8
-2 Log(Vraisemblance)	39,029	28,674
R <sup>2</sup> (McFadden)	0,000	0,265
R <sup>2</sup> (Cox and Snell)	0,000	0,645
R <sup>2</sup> (Nagelkerke)	0,000	0,658
AIC	43,029	34,674
SBC	43,634	35,582
Déviante	0,103	0,037
Khi <sup>2</sup> de Pearson	0,102	0,037
Itérations	0	16

Test de l'hypothèse nulle H0 : Y=Constante (Variable BD)

Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Vraisemblance)	1	10,355	0,001
Score	1	11,859	0,001
Wald	1	17,863	< 0,0001

Analyse de Type II (Variable BD)

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
RDI Oct-Apr	1	10,355	0,001

Paramètres du modèle pour les composantes (Variable BD) :

Source	Valeur	Erreur standar	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Id Borne inf. (9/ald Borne sup. (95%)
Constante	2,800	0,020	20051,597	< 0,0001	2,761 2,839
RDI Oct-Apr	0,109	0,026	17,863	< 0,0001	0,058 0,159
Echelle	273,432	122,283			33,763 513,102

Equation du modèle pour les composantes (Variable BD) :

$$\text{Préd(BD)} = \exp(2,8002261442601 + 0,108767530516219 * \text{RDI Oct-Apr})$$

Prédictions et résidus (Variable BD) :

Observation	Poids	BD	Préd(BD)	Indépendant	BD/Poids	Préd(BD)/Poids	Résidu std.	std. (Indépendante inférieure Borne supérieure 95%)
Obs1	1	16,8500015	17,095	16,858	16,850	17,095	-0,014	-0,004 16,452 17,763
Obs2	1	13,8000055	15,625	16,858	13,800	15,625	-0,117	-1,705 14,857 16,432
Obs3	1	19,0013581	18,065	16,858	19,001	18,065	0,052	1,195 17,178 18,998
Obs4	1	19,5042125	19,550	16,858	19,504	19,550	-0,002	1,476 18,054 21,171
Obs5	1	16,1170142	16,822	16,858	16,117	16,822	-0,042	-0,413 16,203 17,464
Obs6	1	16,0264301	15,967	16,858	16,026	15,967	0,004	-0,464 15,275 16,690
Obs7	1	17,5371712	15,439	16,858	17,537	15,439	0,136	0,379 14,624 16,300
Obs8	1	15,6492722	15,604	16,858	15,649	15,604	0,003	-0,674 14,830 16,417
Obs9	1	18,5896382	18,692	16,858	18,590	18,692	-0,005	0,966 17,568 19,889
Obs10	1	15,5034588	15,715	16,858	15,503	15,715	-0,013	-0,755 14,968 16,498

Source : Output de XLSTAT

## Annexe 6: Régression Gamma Blé tendre RDI 10 ans

### Régression de la variable BT :

Coefficients d'ajustement (Variable BT) :

Statistique	Indépendant	Complet
Observations	10	10
Somme des poids	10,000	10,000
DDL	9	8
-2 Log(Vraisemblance)	45,641	37,381
R <sup>2</sup> (McFadden)	0,000	0,181
R <sup>2</sup> (Cox and Snell)	0,000	0,562
R <sup>2</sup> (Nagelkerke)	0,000	0,568
AIC	49,641	43,381
SBC	50,247	44,289
Déviante	0,397	0,174
Khi <sup>2</sup> de Pearson	0,402	0,182
Itérations	0	13

Test de l'hypothèse nulle H0 : Y=Constante (Variable BT)

Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Vraisemblance)	1	8,260	0,004
Score	1	7,535	0,006
Wald	1	12,444	0,000

Analyse de Type II (Variable BT)

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
RDI Oct-Apr	1	8,260	0,004

Paramètres du modèle pour les composantes (Variable BT) :

Source	Valeur	Erreur standard	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Limite inf. (95%)	Limite sup. (95%)
Constante	2,443	0,043	3205,618	< 0,0001	2,358	2,527
RDI Oct-Apr	0,200	0,057	12,444	0,000	0,089	0,311
Echelle	57,512	25,720			7,101	107,922

Equation du modèle pour les composantes (Variable BT) :

$$\text{Préd}(BT) = \exp(2,44284453420705 + 0,199877494753977 * \text{RDI Oct-Apr})$$

Prédictions et résidus (Variable BT) :

Observation	Poids	BT	Préd(BT)	Indépendant	BT/Poids	Préd(BT)/Poids	Résidu std.	std. (Indépendante inférieure)	std. (Indépendante supérieure)	95%
Obs1	1	13	12,351	12,098	13,000	12,351	0,053	0,353	11,360	13,428
Obs2	1	9,40037171	10,469	12,098	9,400	10,469	-0,102	-1,055	9,375	11,691
Obs3	1	16,0122055	13,670	12,098	16,012	13,670	0,171	1,530	12,242	15,263
Obs4	1	15,4978718	15,805	12,098	15,498	15,805	-0,019	1,329	13,268	18,827
Obs5	1	9,614	11,990	12,098	9,614	11,990	-0,198	-0,971	11,049	13,012
Obs6	1	14	10,894	12,098	14,000	10,894	0,285	0,743	9,888	12,003
Obs7	1	10,2970297	10,242	12,098	10,297	10,242	0,005	-0,704	9,094	11,535
Obs8	1	10,4166667	10,443	12,098	10,417	10,443	-0,003	-0,657	9,343	11,673
Obs9	1	13,2434713	14,554	12,098	13,243	14,554	-0,090	0,448	12,702	16,676
Obs10	1	9,50078569	10,580	12,098	9,501	10,580	-0,102	-1,015	9,511	11,769

Source : Output de XLSTAT

## Annexe 7: Régression Gamma Orge RDI 10 ans

### Régression de la variable OR :

Coefficients d'ajustement (Variable OR) :

Statistique	Indépendant	Complet
Observations	10	10
Somme des poids	10,000	10,000
DDL	9	8
-2 Log(Vraisemblance)	45,223	30,558
R <sup>2</sup> (McFadden)	0,000	0,324
R <sup>2</sup> (Cox and Snell)	0,000	0,769
R <sup>2</sup> (Nagelkerke)	0,000	0,778
AIC	49,223	36,558
SBC	49,828	37,466
Déviante	0,249	0,058
Khi <sup>2</sup> de Pearson	0,257	0,059
Itérations	0	15

$$2 \ln[L(\text{Mintercept})/L(\text{MFull})]$$

Test de l'hypothèse nulle H<sub>0</sub> : Y=Constante (Variable OR)

Statistique	DDL	Khi <sup>2</sup>	Pr > Khi <sup>2</sup>
-2 Log(Vraisemblance)	1	14,665	0,000
Score	1	23,334	< 0,0001
Wald	1	32,375	< 0,0001

Analyse de Type II (Variable OR)

Source	DDL	Khi <sup>2</sup> (LR)	Pr > LR
RDI Oct-Apr	1	14,665	0,000

Paramètres du modèle pour les composantes (Variable OR) :

Source	Valeur	Erreur standar	Khi <sup>2</sup> de Wald	Pr > Khi <sup>2</sup>	Id Borne inf. (95%)	Borne sup. (95%)
Constante	2,653	0,025	11425,602	< 0,0001	2,604	2,702
RDI Oct-Apr	0,183	0,032	32,375	< 0,0001	0,120	0,246
Echelle	173,500	77,592			21,423	325,576

Equation du modèle pour les composantes (Variable OR) :

$$\text{Préd(OR)} = \exp(2,65311087263226 + 0,183314011520145 * \text{RDI Oct-Apr})$$

Prédictions et résidus (Variable OR) :

Observation	Poids	OR	Préd(OR)	Indépendant	OR/Poids	Préd(OR)/Poids	Résidu std.	std. (Indépendante inférieure)	Borne supérieure 95%	
Obs1	1	14,816967	15,152	14,858	14,817	15,152	-0,022	-0,016	14,440	15,899
Obs2	1	11,6950536	13,021	14,858	11,695	13,021	-0,102	-1,259	12,223	13,870
Obs3	1	17,3526474	16,629	14,858	17,353	16,629	0,044	0,993	15,612	17,713
Obs4	1	19,6494779	18,997	14,858	19,649	18,997	0,034	1,907	17,194	20,990
Obs5	1	13,5030281	14,746	14,858	13,503	14,746	-0,084	-0,539	14,068	15,456
Obs6	1	15,3088873	13,505	14,858	15,309	13,505	0,134	0,179	12,774	14,277
Obs7	1	14,2678034	12,761	14,858	14,268	12,761	0,118	-0,235	11,922	13,659
Obs8	1	12,7563171	12,991	14,858	12,756	12,991	-0,018	-0,836	12,189	13,846
Obs9	1	16,931294	17,613	14,858	16,931	17,613	-0,039	0,825	16,296	19,037
Obs10	1	12,2988671	13,147	14,858	12,299	13,147	-0,065	-1,018	12,369	13,974

Source : Output de XLSTAT



# Bibliographie

- Bedrani, S, et Cheriet,F. *Quelque éléments pour un bilan d'un demi siècle de politiques agricoles*. les cahiers du CREAD n°100, 2012.
- Bessaoud, O, Pellissier, J.P Rolland, J.P et Khechimi,W. *Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie*. CIHEAM-IAMM, 2019.
- Boudjadja, A, Messahel, M et Pauc,H. «Ressources hydriques en Algérie du Nord.» *Revue des sciences de l'eau*, 2003.
- BROSSIER, J. «Risque et incertitude dans la gestion de l'exploitation agricole Quelques principes méthodologiques.» *ORSTOM*, 1989.
- Carter, M, De Janvry, A, Sadoulet,E et Sarris,A. «Assurance climatique indicelle pour les pays en développement : examen des faits et propositions visant à augmenter le taux de souscription.» *Revue d'économie du développement* , 2015.
- Chourghal, N et Huard. F *Stratégies d'adaptations de la culture du blé dur face aux changements climatiques futurs en Algérie*. CIHEAM-IAMB,Options Méditerranéennes, 2020.
- Cordier, J. «La gestion des risques en agriculture de la théorie à la mise en œuvre : éléments de réflexion pour l'action publique.» (Hal) 2008.
- Djermoun, A. «Le développement de la filière céréalière en Algérie : une forte dépendance des blés.» *Revue Des économies nord Africaines*, 2018: P 19-26.
- Donald, A, Wilhite, M et Glantz, H. «Understanding the Drought PhenomenonThe Role of Definitions.» *Water International University of Nebraska-lincoln*, 1985: 111-120.
- Emberger, L. «Sur le quotient pluviothermique.» *Science*, 1952: 234.
- MADR. *Statistiques agricoles : production et superficies, Série B 2019*. Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, 2021.
- Mahul, O. «Vers une redéfinition du rôle de l'assurance agricole dans la gestion des risques sur récoltes.» *Revue d'Études en Agriculture et Environnement*, 1998.
- MEER. *Plan National du Climat*. Algérie: Ministère de l'Environnement et des énergies renouvelables, 2019.
- OMM. *Programme de gestion intégrée des sécheresses : Manuel des indicateurs et des indices de sécheresse*. Organisation météorologique mondiale (OMM), 2016.
- OSS. *Vers un système d'Alerte précoce à la sécheresse au Maghreb*. Tunis: Observation du Sahara et du Sahel , 2013.
- Poitou, J, et Braconnot,P. *Les mots du climat*. EDP Sciences, 2021.
- Roberts, R. *Assurance des récoltes dans les pays en développement*. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation, 2005.

- Sanoussi, A, Ahmadou, A et Ilaria, T. *Gestion des risques agricoles: théorie et applications au Sahel et en Afrique de l'Ouest*". Rome: Platform for agricultural risk management , 2019.
- Schilling, J, Freier, K, Hertig, E et Scheffran, J. «Climate change, vulnerability and adaptation in North Africa with focus on Morocco. Agriculture, Ecosystems and Environment.» 2012.
- Tsakiris, G et Vangelis, H. «Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration.» *European Water*, 2005.
- WB. *WEATHER INDEX INSURANCE FOR AGRICULTURE*. The world bank:Agriculture and Rural Development, 2011.
- WB. *Weather Index Insurance For Agriculture, Guidance for Development Practitioner*. The World Bank : agriculture and rural development discussion , 2011.

## Webographie

- <https://www.oaic-office.com/Historique.html> consulté le 24/07/2022
- <https://tbn.care.dz/fr/tbn/page/contact-p3>, consulté le 11/07/2022 à 16h10
- <https://content.meteoblue.com/en/about-us> consulté le 13/09/2022 à 13h00
- <https://agronomie.info/fr/cycle-biologique-du-ble/> consulté le 11/10/2022 à 21h00
- <https://wikifarmer.com/fr/besoins-en-eau-du-ble-et-systemes-dirrigation/#:~:text=Besoins%20en%20eau%20aux%20diff%C3%A9rents,couvrent%20ces%20besoins%20en%20quantit%C3%A9>. consulté le 11/10/2022 à 21h20
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme\\_climatique#Diagramme\\_ombrothermique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_climatique#Diagramme_ombrothermique) consulté le 11/10/2022 10h37

# Table des matières

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICACES</b> .....	<b>II</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>III</b>
<b>ACRONYMES</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES ANNEXES</b> .....	<b>VII</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : LE SECTEUR AGRICOLE ALGÉRIEN, ATOUT STRATÉGIQUE ET VULNÉRABILITÉ FACE AU CLIMAT.</b> .....	<b>6</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>Section 1 : L’Algérie, localisation et climat</b> .....	<b>7</b>
Sous-section 1 : Définition de concepts.....	7
Sous-section 2 : Caractéristiques du climat en Algérie.....	9
1. Températures.....	9
2. Pluviométrie .....	10
Sous-section 3 : L’Algérie face au réchauffement climatique .....	11
<b>Section 2 : Les caractéristiques géo-climatiques de l’agriculture algérienne</b> .....	<b>12</b>
Sous-section 1 : Les ensembles agroécologiques en Algérie.....	12
Sous-section 2 : Les terres agricoles.....	13
Sous-section 3 : Les ressources hydriques.....	16
<b>Section 3 : Le secteur agricole algérien, focus sur la filière des céréales</b> .....	<b>17</b>
Sous-section 1 : L’agriculture dans l’économie algérienne .....	17
Sous-section 2 : La production agricole, répartition et réalisations .....	20
Sous-section 3 : La filière céréales, forte dépendance et instabilité .....	23
<b>Conclusion</b> .....	<b>27</b>
<b>CHAPITRE 2 : L’ASSURABILITÉ DU RISQUE SÉCHERESSE AGRICOLE</b> .....	<b>30</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>30</b>

<b>Section 1 : Les risques agricole.....</b>	<b>31</b>
Sous-section 1 : Classification des risques agricoles .....	31
1. Classification des risques agricoles .....	31
2. Les risques liés à l’entreprise agricole.....	33
Sous-section 2 : Les spécificités des risques climatiques .....	34
Sous-section 3 : La sécheresse agricole, concepts et indices de mesures .....	36
1. Concepts et définitions .....	36
2. Indices de mesures.....	38
<b>Section 2 : Outils de gestion des risques climatiques .....</b>	<b>42</b>
Sous-Section 1 : Mécanismes et stratégies de gestion du risque sécheresse.....	42
Sous-Section 2 : Les programmes classiques d’assurance récolte.....	45
Sous-section 3 : Les limites de l’assurance classique .....	47
<b>Section 3 : Solution indicielle pour l’assurance sécheresse .....</b>	<b>51</b>
Sous-section 1 : Fonctionnement de l’assurance indicielle .....	51
1. Définition et caractéristiques .....	51
2. Niveaux d’intervention et business models .....	52
Sous-section 2 : Construction du contrat et choix de l’indice.....	54
Sous-section 3 : Tarification.....	55
<b>Conclusion .....</b>	<b>56</b>

## **CHAPITRE 3 : CONCEPTION D’UN PRODUIT D’ASSURANCE INDICIELLE**

### **« SÉCHERESSE AGRICOLE ».....59**

#### **Introduction .....**

#### **Section 1 : Présentation de l’étude et validation de l’indice..... 60**

##### Sous-section 1 : Zoom sur l’éligibilité de zone d’étude et les données .....

1. Présentation de la variable météo-sensible (Rendement céréalier)..... 61

2. Présentation des données météorologiques .....

3. Analyse bioclimatique de la wilaya de Tiaret..... 64

##### Sous-section 2 : Détermination de la période de couverture du contrat..... 67

1. Cycle biologique des céréales d’hiver .....

2. Diagramme ombrothermique..... 68

3. Détermination de la période de couverture..... 69

##### Sous-section 3 : Calcul de l’indice RDI et étude de la corrélation .....

1. Présentation de la base de données et du logiciel de calcul..... 70

2. Présentation des résultats..... 71

3. Analyse de la corrélation et validation de l’indice .....

73

<b>Section 2 : Proposition d'un modèle de tarification.....</b>	<b>74</b>
Sous-section 1 : Régression et évaluation de la qualité de l'ajustement du modèle. ....	75
1. Coefficients d'ajustement.....	75
2. Test de l'hypothèse nulle et les paramètres du modèle .....	78
Sous-Section 2 : Identification de la fonction de la perte captée par l'indice .....	80
1. Identification des équations de rendement en fonction de l'indice.....	80
2. Détermination de la fonction de perte .....	81
Sous-section 3 : Détermination de la fréquence de la sécheresse selon l'indice RDI.....	82
1. Définition des seuils de déclenchement et des classes du contrat .....	82
2. Calcul des fréquences par niveau de sécheresse.....	83
<b>Section 3 : Tarification de l'assurance indicielle sécheresse agricole.....</b>	<b>84</b>
Sous-section 1 : Estimation de la sévérité par niveau du contrat.....	84
Sous-section 2 : Estimation de la prime pure par niveau de contrat .....	85
Sous-section 3 : Proposition de formules de souscription .....	87
<b>Conclusion .....</b>	<b>90</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>91</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>103</b>
<b>WEBOGRAPHIE .....</b>	<b>104</b>

## Résumé

L'agriculteur comme tous créateur de richesse, fait face à une multitude de risques dont les risques climatiques et particulièrement le déficit pluviométrique ou la sécheresse qui confronte l'agriculteur à une volatilité de ses performances.

Toute son entreprise se trouve ainsi pénalisée en matière de stabilité économique. Pour un agriculteur averse à ce risque, l'assurance permet de transférer le risque de sécheresse agricole vers des agents qui ont la capacité et un avantage comparatif à les supporter. Cependant, le marché de l'assurance reste sceptique lorsqu'il s'agit de couvrir les risques climatiques à cause des contraintes qui limitent l'assurabilité de ce genre de risques sur récoltes. Dans ce contexte, nous avons mis en place un cas de base d'un nouveau produit d'assurance indicielle qui couvre les agriculteurs algériens contre les pertes subies en rendement ( $Qx/Ha$ ) du risque de sécheresse.

L'indemnisation de l'assurance indicielle est liée au franchissement d'un seuil prédéfini d'un indice fortement corrélé aux rendements. Pour la conception de ce produit, nous avons utilisé l'Indice RDI conçu pour mesurer la fréquence et la gravité de différentes classes de sécheresse agricole. La validation de l'indice RDI comme base d'une assurance indicielle et la méthode de définition de l'éligibilité des zones géographiques et la période de couverture du contrat constituent une première étape, la modélisation de la fonction de perte en rendement captée par l'indice a été cruciale dans la détermination de la sévérité de niveaux de sécheresse établis par le RDI.

La classification du RDI a été utilisée pour la détermination des seuils de déclenchement et différentes classes du contrat. Enfin, lorsque le modèle de tarification est défini et testé, nous avons porté un soin particulier à proposer des formules de souscription de ce nouveau produit.

## Abstract

Like all wealth creators, farmers face multiple risks. Among them: climate risks, particularly the rainfall deficit or the drought. These confronts the farmer to a risk of volatility in his performance

This penalizes his entire business in terms of economic stability. For a farmer who opposes this risk, insurance can transfer the risk of agricultural drought to agents who have the capacity and comparative advantage to support them. However, the insurance market remains skeptical when it comes to covering climate risks due to constraints that limit the insurability of these crop risks. In this context, we have set up a base case of a new index insurance product that covers Algerian farmers against yield losses from drought risk.

The compensation of index insurance is linked to the crossing of a predefined threshold of an index strongly correlated to returns. For the design of this product, we used the RDI index designed to measure the frequency and severity of different agricultural drought classes. The validation of the RDI index as the basis for index insurance and the method for defining the eligibility of geographical areas and the period of coverage of the contract are a first step, Modelling the yield loss function captured by the index was crucial in determining the severity of RDI drought levels.

The RDI classification was used to determine the trigger points and the different classes of the contract. Finally, when the pricing model is defined and tested, we took care to offer subscription packages for this new product.