



Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes  
Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

# **ANALYSE DE LA RESILIENCE DES SYSTEMES D'EXPLOITATION AGRICOLE DANS LA PLAINE DE SETIF EN ALGERIE**

Par **Sanae TOUALI**

Sous la direction de Hatem BELHOUCLETTE & Tristan BERCHOUX

*Jury*

*M./Mme Prénom NOM, Fonction, Organisme ..... Président*  
*M./Mme Hatem BELHOUCLETTE, Fonction, IAMM ..... Membre*  
*M./Mme Tristan BERCHOUX, Fonction, IAMM ..... Membre*

**THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE HAUTES ÉTUDES DU CIHEAM**

## **MASTER OF SCIENCE**

**29 juin 2020**





Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes  
Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

# **ANALYSE DE LA RESILIENCE DES SYSTEMES D'EXPLOITATION AGRICOLE DANS LA PLAINE DE SETIF EN ALGERIE**

Par **Sanae TOUALI**

Sous la direction de Hatem BELHOUCLETTE & Tristan BERCHOUX

*Jury*

*M./Mme Prénom NOM, Fonction, Organisme ..... Président*  
*M./Mme Hatem BELHOUCLETTE, Fonction, IAMM ..... Membre*  
*M./Mme Tristant BERCHOUX, Fonction, IAMM ..... Membre*

**THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE HAUTES ÉTUDES DU CIHEAM**

## **MASTER OF SCIENCE**

**29 juin 2020**

« L'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions n'engagent que leur auteur. »

## *Projet SemiArid*

*Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet SemiArid (Sustainable and Efficient Mediterranean farming systems : Improving Agriculture Resilience through Irrigation and Diversification), qui a commencé en mai 2017 pour une durée de 3 ans. Son coordinateur est le CIHEAM-IAMM en partenariat avec IAV (Institut Agronomique et Vétérinaire) Hassan II, INRA-Meknès, l'ENSA (l'Ecole Nationale Supérieure d'Alger) et CIRAD-Montpellier.*

*L'objectif principal de ce projet est d'évaluer de manière intégrée la résilience et l'efficacité des systèmes agricoles méditerranéens par rapport à la diversité des cultures, à la gestion des ressources en eaux et à la stratégie de production alimentaire sur trois zones d'études : la Plaine de Saïss au Maroc, la plaine de Sétif en Algérie et le plateau de Valensole en France.*

## **Résumé**

Les zones semi-arides sont de plus en plus impactées par les effets du changement climatique. Cette étude envisage d'une part l'élaboration d'une approche quantitative d'évaluation de la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole et d'autre part, l'application de cette approche sur un système d'exploitation agricole, qui se situe dans la plaine de Sétif en Algérie et qui est fortement exposé aux fluctuations pluviométriques.

L'approche quantitative élaborée, est basée sur trois points fondamentaux de la résilience, le premier point vise à identifier l'échelle spatiale d'évaluation de la résilience (parcelle, exploitation ou territoire), le deuxième point vise à identifier le choc étudié et l'horizon de temps considéré et le troisième point pour caractériser la stabilité des capitaux de l'exploitation face aux perturbations. A noter que différents tests paramétriques et non paramétriques sont utilisés pour détecter les ruptures en moyenne, en variance et la tendance, qui décrivent cette stabilité agricole.

Les résultats de la première application de cette approche sur un système d'exploitation dans la plaine de Sétif face au choc de variations pluviométriques entre 2019-2049, montrent que la marge brute annuelle du capital économique est en moyenne stable sur les 31 ans simulés (+5%) malgré la baisse significative de la SAU louées (-8%) pour le capital naturel et la quantité de travail (-14%) pour le capital humain. Et par conséquent, ce système peut être classé dans la catégorie des exploitations agricoles résilientes évolutives, il s'agit en fait d'une catégorie d'exploitations qui fonctionnent aussi bien que la situation avant le choc, en augmentant le capital économique tandis que les deux autres capitaux diminuent.

## **Mots clés auteur**

Résilience, système d'exploitation agricole, cadre d'analyse, choc, stabilité, indicateur, capital économique, capital naturel, capital humain, rupture en moyenne, rupture en variance et tendance.

***Title: Analysis of resilience at the agricultural holding: Quantitative approach***

## ***Abstract***

*Semi-arid areas are increasingly affected by the effects of climate change. This study firstly envisages the development of a quantitative approach to assess resilience at the farm scale and secondly, the application of this approach on a farming system, which is located in the plain of Setif in Algeria and which is highly exposed to rainfall fluctuations.*

*The quantitative approach developed is based on three fundamental points of resilience, the first point aims to identify the spatial scale for evaluating resilience (plot, farm or territory), the second point aims to identify the shock studied and the time horizon considered and the third point to characterize the stability of operating capital in the face of disturbances. Note that different parametric and non-parametric tests are used to detect breaks in average, variance and trend, which describe this agricultural stability.*

*The results of the first application of this approach on an operating system in the Setif plain faced with the shock of rainfall variations between 2019-2049, indicate that the gross annual gross margin of economic capital is on average stable over the simulated 31 years (+ 5%) despite the significant drop in rented UAA (-8%) for natural capital and the amount of work (-14%) for human capital. And therefore, this system can be classified in the category of scalable resilient farms, it is in fact a category of farms that works as well as the situation before the shock, increasing economic capital while two other capitals decrease.*

## ***Author keywords***

*Resilience, farming system, analytical framework, shock, stability, indicator, economic capital, natural capital, human capital, break in average, break in variance and trend.*

## Remerciements

*Au* terme de ce travail de mon master of science que j'ai réalisé dans le cadre du projet SemiArid à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM) , je tiens à exprimer ma haute considération et mes sincères remerciements à monsieur Hatem BELHOUCLETTE qui m'a donnée l'occasion de réaliser mon stage en travaillant sur une thématique très intéressante, je le remercie également pour son encadrement , pour ses efforts qui ont joué un rôle important afin de surmonter toutes les obstacles et atteindre les objectifs fixés, je le remercie pour ses encouragements, sa confiance et pour ses conseils fructueux et instructifs qui ont été prépondérants pour la réussite de ce travail.

*Je* tiens à remercier également monsieur Tristan BERCHOUX pour son encadrement, son accompagnement, ses conseils constructifs, son suivi et sa compréhension. Je le remercie encore une fois pour ses encouragements et son soutien qui mon vraiment aider tout au long de mon travail.

*Je* remercie madame Roza CHENOUNE pour son aide, ses conseils et tout le temps qu'elle m'a consacré pour échanger sur le déroulement de chaque étape de travail surtout au moment de l'analyse des résultats.

*J'*adresse aussi mes vifs remerciements à tous les enseignants et corps administratif de l'IAMM pour leurs efforts afin de bien réussir la formation.

*Enfin*, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin pour la réalisation de cette étude.

# Sommaire

Remerciements.....	4
Table des Tableaux .....	7
Table des Figures .....	8
Liste des Annexes .....	9
Introduction & Contexte .....	10
<b>Première partie : Cadre théorique de la résilience &amp; Problématique et objectifs de l'étude</b>	
I -Cadre théorique de la résilience.....	12
1.    Résilience .....	12
1.1.    Définir la résilience .....	12
1.2.    Comment mesurer la résilience d'un système ? .....	13
1.3.    Résilience des agrosystèmes .....	13
1.4.    Comment améliorer la résilience d'un système ? .....	14
II - Problématique & objectifs de l'étude.....	16
<b>Deuxième partie : Cadre d'analyse &amp; Approche quantitative de la résilience</b>	
I -Définition et représentation du cadre d'analyse opérationnel pour mesurer la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole .....	19
1.    Composantes du cadre d'analyse : Trois questions de la résilience.....	19
2.    Étapes du cadre d'analyse : Résilience des systèmes d'exploitation agricoles.....	20
2.1.    Choix des indicateurs socio-économiques et environnementaux .....	20
2.2.    Etude de stabilité des indicateurs par capital.....	23
2.3.    Etude de comportement du système d'exploitation.....	24
<b>Troisième partie : Approche méthodologique &amp; Présentation de l'étude de cas</b>	
I -Approche méthodologique : Étapes d'analyse & Etude de cas .....	27
1.    Présentation du système d'exploitation étudié : Description & Justification.....	28
2.    Présentation du choc étudié .....	29
3.    Choix des indicateurs : Etude de cas .....	30
4.    Méthodes statistiques d'étude de la stabilité.....	36
4.1.    Tests paramétriques.....	36
4.1.1.    Tests paramétriques de comparaison de moyenne .....	36
4.1.1.1.    Test de normalité .....	37
4.1.1.2.    Tests de comparaison de moyennes .....	37
4.1.2.    Tests paramétriques d'égalité de variances.....	35
4.1.3.    Tests paramétriques de la tendance (Régression) .....	36
4.2.    Tests non paramétriques.....	37
4.2.1.    Tests non paramétriques de comparaison de moyenne .....	37
4.2.1.1.    Test d'homogénéité le Pettitt (1979).....	37
4.2.2.    Tests non paramétriques de comparaison de variance .....	37
4.2.2.1.    Tests d'égalité de deux variances : Test Mood (1954).....	37



4.2.2.2.	Tests d'égalité de p variances : Test Kruskal-Wallis .....	38
4.2.3.	Tests non paramétriques de tendance : Mann-Kendall .....	39
<b>Quatrième partie : Résultats &amp; Discussion " Etude de cas"</b>		
I -	Analyse des résultats : Application du cadre d'analyse de la résilience : Etude de cas.....	43
1.	Rappel de l'étude de cas .....	43
2.	Réponses aux trois questions du cadre d'analyse de la résilience : Etude de cas .....	43
II -	Analyse générale des capitaux de l'exploitation : Application du cadre d'analyse.....	44
1.	Capital naturel (KN) .....	44
2.	Capital économique .....	45
3.	Capital humain.....	52
III -	Analyse agrégée de la résilience : Catégorisation du comportement de l'exploitation étudiée .....	53
IV -	Discussions des limites de l'étude .....	56
1.	Retour sur le cadre d'analyse de la résilience .....	56
2.	Retour sur la méthode d'étude de la stabilité.....	56
3.	Retour sur l'étude de cas.....	57
Conclusion & Recommandations.....		57
Références bibliographiques		
Annexes		

# Table des Tableaux

Tableau 1 : Stratégies d'amélioration de la résistance, la récupération et donc de la résilience des systèmes d'exploitation agricoles.....	15
Tableau 2 : Principaux indicateurs pour étudier la résilience de l'exploitation agricole.....	21
Tableau 3 : Principaux indicateurs des trois composantes du capital économique (KE) .....	22
Tableau 4 : Principaux indicateurs du capital humain.....	23
Tableau 5 : Description du système d'exploitation étudié : Cas d'étude (Camille, 2018).....	28
Tableau 6 : Principaux indicateurs sélectionnés pour évaluer la résilience du système d'exploitation étudié : Etude de cas.....	31
Tableau 7 : Différents cas de figures de la tendance et des ruptures en moyenne et en variance des séries temporelles.....	34
Tableau 8 : Les trois questions de la résilience analysées dans la présente étude : étude de cas .....	43
Tableau 9 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : SAU louée.....	44
Tableau 10 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : Utilisation d'eau d'irrigation.....	45
Tableau 11 : Test student t de comparaison de moyenne pour l'indicateur : assolement céréales.....	46
Tableau 12 : Test Fisher de comparaison des variances pour l'indicateur : Assolement céréales .....	46
Tableau 13 : Test Pettitt de rupture en moyenne pour la série « Assolement maraîchage » entre 2019-2049 et entre 2028-2049 .....	48
Tableau 14 : Test Kruskal-Wallis de comparaison de plusieurs variances entre 2019 et 2049.....	48
Tableau 15 : Test Pettitt de rupture en moyenne pour la série « effectif ovin » entre 2019 et 2049 .....	48
Tableau 16 : Test Fisher de comparaison de 2 variances entre 2019 et 2049.....	49
Tableau 17 : Test de Mood de comparaison de 2 variances entre 2019 et 2049 .....	49
Tableau 18 : Test Fisher de comparaison de variances : Marge brute (avant et après 2030) .....	50
Tableau 19 : Test Pettitt pour la série « Trésorerie » entre 2019 et 2049.....	51
Tableau 20 : Test Mann-Kendall : temps de travail (h) entre 2019 et 2049 .....	52
Tableau 21 : Test Pettitt : temps de travail (h) entre 2019 et 2049.....	52
Tableau 22 : Test Mood : temps de travail (h) entre 2019 et 2049.....	53
Tableau 23 : Valeurs et variations des indicateurs des trois capitaux avant et après les années de choc : étude de stabilité (Rupture en moyenne, Tendance et rupture en variance) .....	54
Tableau 24 : Etude de stabilité des indicateurs des trois capitaux : KN, KE et KH.....	55
Tableau 25 : Avantages et les limites des tests paramétriques et non paramétriques utilisés pour étudier la stabilité des indicateurs de la résilience agricole .....	57

## Table des Figures

Figure 1 : Trois dimensions de la résilience (Adapté de FAO, 2018) .....	12
Figure 2 : Indicateurs de résilience- étude de stabilité des trois capitaux du système d'exploitation agricole sur trois dimensions : l'axe x représente la variabilité du KN, l'axe y représente la variabilité du KE et l'axe z représente la variabilité du KH.....	24
Figure 3: Schéma récapitulatif du cadre d'analyse proposé pour analyser la résilience des systèmes d'exploitation agricoles .....	25
Figure 4 : Etapes de l'approche méthodologique pour appliquer le cadre d'analyse de la résilience proposé .....	27
Figure 5 : Représentation des étages climatiques de la région de Sétif (Adaptée par Camille, 2018, de Benniou et Brinis, 2006) .....	29
Figure 6 : Evolution des précipitations annuelles totales pendant la période 2019-2049.....	30
Figure 7 : Schéma récapitulatif des différents tests paramétriques et non paramétriques utilisés .....	41
Figure 8 : Evolution de la SAU louée et de pluviométrie entre 2019 et 2049.....	44
Figure 9 : Evolution de la quantité de l'eau d'irrigation utilisée et des précipitations entre (2019-2049).....	45
Figure 10 : Evolution des surfaces (ha) en céréales entre 2019 et 2049.....	46
Figure 11 : Evolution des surfaces (ha) en maraîchage entre 2019 et 2049 .....	47
Figure 12 : Ruptures en moyenne détectées dans la série de l'assolement maraîchage : en 2027 et 2040 sur la période (2019-2049).....	47
Figure 13 : Evolution de l'effectif ovin entre 2019-2049 .....	48
Figure 14 : Evolution de l'effectif bovin entre 2019-2049 .....	49
Figure 15 : Evolution de la marge brute globale de l'exploitation sur la période 2019-2049.....	50
Figure 16 : Evolution de la marge brute ovine et bovine sur la période 2019-2049 .....	51
Figure 17 : Evolution de l'investissement et la trésorerie entre 2019 et 2049.....	51
Figure 18 : Rupture en moyenne (2038) et tendance à la baisse pour la série travail (h) entre 2019-2049.....	52
Figure 19 : Evolution des surfaces en maraîchage et le temps de travail (h) .....	53
Figure 20 : Représentation conceptuelle du cadre d'analyse d'évaluation de la résilience agricole (Soussi et al. 2018) .....	55

## Liste des Annexes

Annexe 1 : Diagramme climatique de la ville de Sétif (climate-data, 2020).....	65
Annexe 2: Résultats de la régression linéaire pour l'indicateur : SAU louées (Sorties du logiciel SPSS).....	66
Annexe 3: Résultats de la régression linéaire pour l'indicateur : Quantité de l'eau d'irrigation utilisée (Sorties du logiciel SPSS) .....	66
Annexe 4: Résultats du test Mann-Kendall de tendance pour l'indicateur : Assolement maraîchage (Sortie du logiciel XLSTAT) .....	67
Annexe 5 : Box plots de comparaisons de variances : le test Kruskal-Wallis (3 ruptures en 2027, en 2035 et en 2040) sur la période 2019-2049 .....	67
Annexe 6 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : Production de lait (2019-2049).....	68
Annexe 7 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : Marge brute (2019-2049) .....	68
Annexe 8: Test Mood pour la série « Trésorerie » entre 2019 et 2049 .....	68

## Introduction & Contexte

La région Méditerranéenne Sud est parmi les zones les plus impactées par les effets du changement climatique notamment : l'augmentation de la température + 2°C lors du 20<sup>ème</sup> siècle, des baisses sensibles de précipitations pouvant localement atteindre 10 à 25 mm/an par décennie (Pouffary et al. 2018) plus les problèmes liés à l'augmentation de la salinité des sols, l'intensification des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, inondations et etc.), l'érosion provoquée par la hausse du niveau de la mer, la diminution des réserves en eau ... autant de phénomènes qui peuvent impacter négativement le niveau de la production alimentaire en général et de la productivité agricole en particulier (Pouffary et al. 2018). Des prévisions faites par le GIEC, ont montré que les rendements sur le continent africain peuvent diminuer sous l'effet du réchauffement climatiques avec des pertes allant de 22 % pour les cultures majeures et jusqu'à 25 % pour le blé d'ici 2050.

D'autres phénomènes de types économiques, institutionnels et politiques, peuvent provoquer une forte variabilité de cette production alimentaire, comme la volatilité des prix des produits agricoles (L'inflation), la concurrence multinationale, la baisse des subventions ou encore l'augmentation de la population et l'exode rural (Rastoin, 2015).

Devant toutes ces perturbations qui mettent la production alimentaire méditerranéenne en risque d'instabilité, l'analyse et l'amélioration de la résilience agricole en générale et de la résilience à l'échelle de l'exploitation en particulier, sont les défis majeurs pour y faire face (Rivington et al, 2007).

En fait, la résilience d'un système est la capacité de ce dernier à faire face aux différents types de chocs, qui peuvent apparaître d'une façon inattendue (Holling, 1973). En agriculture, la résilience pourra être étudiée sur plusieurs échelles : la parcelle, la ferme ou le territoire. Dans le cas de l'agriculture à l'échelle de l'exploitation agricole, la résilience signifie la capacité de l'exploitation à absorber, ou à s'adapter ou encore à se transformer pour faire face aux perturbations exercées et pour revenir à l'état initial de base (Conway, 1987).

Dans cette optique, l'objectif principal de la présente étude, est d'élaborer une approche quantitative d'évaluation de la résilience des exploitations agricoles face aux perturbations. Les objectifs spécifiques assignés sont :

- Préparer un cadre théorique pour une meilleure compréhension conceptuelle de la résilience, la résilience des agrosystèmes, la mesure de la résilience ainsi que les leviers d'amélioration de cette dernière ;
- Tracer un schéma d'un cadre opérationnel pour évaluer quantitativement la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole ;
- Préparer l'approche méthodologique et les outils statistiques indispensables pour appliquer le cadre d'analyse proposé ;
- Appliquer le cadre d'analyse sur un exemple de système d'exploitation en Algérie : « étude de cas »

- Formuler des conclusions et des recommandations à partir des résultats d'analyse obtenus.

Cette approche est basée sur l'étude de stabilité des capitaux de l'exploitation : le capital naturel qui est composé de la terre, les ressources en eau et l'écosystème, le capital économique lié à la rentabilité, le niveau de production et la solvabilité de l'exploitation ainsi que le capital humain lié surtout à la quantité et la productivité de la main d'œuvre de l'exploitation. La stabilité peut être évaluée en détectant les ruptures en moyennes, les ruptures en variances et la tendance, pour les différents indicateurs choisis. A noter que plusieurs tests statistiques paramétriques et non paramétriques sont disponibles pour étudier cette dernière face aux perturbations, notamment : le test t-student de comparaison de moyennes, le test Fisher de comparaison de variances, la régression linéaire, le test Pettitt, le Mood, le test Mann-Kendal et etc.

Cette approche conceptuelle a fait l'objet d'une première application sur un système d'exploitation agricole dans la plaine de Sétif en Algérie, il s'agit d'un système qui se caractérise par une diversité agricole importante et une forte exposition aux risques de fluctuations pluviométriques.

Ce document sera structuré en quatre parties, d'abord un cadre théorique des principaux concepts liés à la résilience en générale et à la résilience des agrosystèmes plus une présentation de la problématique et de l'objectif principal de l'étude. Ensuite le cadre d'analyse ou l'approche d'évaluation de la résilience sera abordé d'une façon détaillée. Puis, les étapes de l'approche méthodologique nécessaire pour appliquer cette approche seront explicitées. Enfin, les résultats obtenus de l'étude de cas seront présentés

## **Première partie :**

# **Cadre théorique de la résilience & Problématique et objectifs de l'étude**

## I - Cadre théorique de la résilience

### 1. Résilience

#### 1.1. Définir la résilience

Le mot résilience vient du latin Resilio qui signifie rebondir, rejaillir, redresser. Il a été employé la première fois dans les sciences physiques, c'est Holling (1996) le premier écologiste qui l'a introduit dans le domaine de l'écologie en tant que capacité du système à absorber des chocs et à conserver sa fonction, son identité et son organisation.

En 2012, la commission européenne a défini la résilience comme : « la capacité d'un individu, d'un ménage, d'une communauté, d'un pays ou d'une région à résister, à s'adapter et à recupérer rapidement à la suite de tensions et chocs ». Dans le même contexte l'Agence américaine pour le développement international (2012) a considéré la résilience comme la capacité des systèmes à créer une forme d'adaptation face aux chocs d'une manière à réduire la vulnérabilité et faciliter une croissance inclusive.

Dans le domaine agricole, la résilience peut être définie comme la capacité d'un agrosystème à s'adapter ou à absorber les effets négatifs des chocs en conservant ses mécanismes de fonctionnement, sa structure et sa productivité (Conway, 1987). En d'autres termes, la résilience est la capacité d'un système agricole à persister, à maintenir son intégrité et à retourner à l'état initial ou l'état d'équilibre, face à une perturbation survenue suite à une force exogène (Holling, 1973). Dans le même contexte Holing et Guderson (2002) cité par Bar et al., (2011) et Peterson et al. (2018) confirment que la résilience est la capacité du système à faire face à n'importe quel choc en gardant un fonctionnement moyennement stable.

D'après ces définitions, la résilience a trois dimensions : la capacité d'absorption, la capacité d'adaptation et la capacité de transformation (Figure 1). L'absorption revoit vers la capacité d'un agrosystème à réduire les impacts d'un choc donné afin de maintenir les mêmes modalités de fonctionnement. La capacité d'adaptation correspond à un ajustement convenable aux impacts d'une force exogène (ajustements des calendriers de plantation par exemple ou le passage à des cultures résistantes et etc.), finalement la transformation se réfère à la capacité de changer carrément le système de base et passer à un autre lorsque la nature des chocs exige (FAO, 2018).

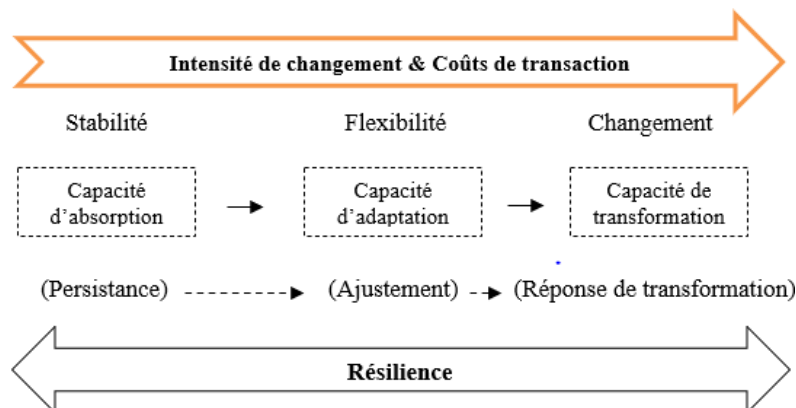


Figure 1 : Trois dimensions de la résilience (Adapté de FAO, 2018)



## 1.2. Comment mesurer la résilience d'un système ?

La résilience est une notion pluridisciplinaire, elle est définie par plusieurs auteurs (Mghirbi, 2016), un seul aspect de la résilience qui est généralement analysé et elle est souvent utilisée comme un cadre d'analyse et non pas un objet d'analyse. Toutes ces caractéristiques rendent cette dernière difficile à évaluer (Dauphiné et Provitolo, 2007).

Pour rendre cette notion opérationnelle, sa mesure est indispensable. Différentes méthodes sont possibles, elles se basent dans la plupart des cas : sur la détermination de l'ampleur maximale du choc à ne pas dépasser pour que le fonctionnement du système reste toujours assuré ainsi que la mesure de la persistance du système en calculant le temps de retour nécessaire pour revenir à l'état d'équilibre ou au moins à l'état initial avant l'exposition au choc. Dans d'autres cas, cette résilience pourra être jugée en calculant la proportion des espèces disparu suite à une perturbation pour un écosystème par exemple. Notons que ces mesures peuvent donner une première perception sur le niveau de résilience d'un système mais elles restent insuffisantes (Dauphiné et Provitolo, 2007).

La mesure de la résilience peut en outre faire l'objet d'une formulation d'indicateurs en fonction de la nature du choc, l'échelle d'étude et le système ciblé (Lallau, 2011), suivi par une comparaison de ces derniers sur un horizon de temps précis pour pouvoir analyser la capacité du système à retourner à son état initial tout en précisant la vitesse de reconstruction et l'intensité de variation (Dauphiné et Provitolo, 2007). A noter que, les indicateurs à utiliser dans ce type d'analyse, doivent prendre en considération plusieurs dimensions quel que soit le système étudié, afin de faire une analyse plus globale de la résilience.

Finalement, l'utilisation de la modélisation *ex-post* ou *ex-ante* des données de l'exploitation réduit les imperfections et facilite la mise en évidence du niveau de résilience des systèmes agricoles. Il s'agit d'une méthode d'évaluation quantitative de la résilience en prenant en considération plusieurs composantes du système étudié (Soussi et al. 2017 et Giraud-Héraud, 2016).

## 1.3. Résilience des agrosystèmes

Pour améliorer les performances des systèmes agricoles, la mesure de leur résilience aux chocs semble intéressante. Peterson et al. (2018) propose une approche d'évaluation quantitative de la résilience, basée sur l'étude de comportement de quatre composantes de l'agrosystème qui est considéré comme un système complexe et dynamique en interaction continue avec son environnement (Bremond, 2011) : la productivité, la stabilité, la résistance et la récupération.

- 1- La productivité : la performance des systèmes agricoles est souvent jugée par leur productivité qui représente la production agricole totale ainsi que la fourniture des services écosystémiques (Peterson et al., 2018). L'étude de la variation de cette composante est intéressante afin de décrire la capacité du système à produire de manière suffisante et efficace en cas de perturbations. Notons que, la perte de productivité peut conduire à une perte de la résilience des exploitations agricoles (Bremond, 2011).
- 2- Stabilité ou l'ampleur de variation : son étude est également primordiale pour l'évaluation de la résilience de l'exploitation agricole, puisqu'elle décrit la capacité du

système à revenir à une production moyenne équilibrée après une perturbation temporaire (Bremond, 2011).

La productivité et la stabilité sont deux composantes très liées, elles expriment la capacité de l'agrosystème à long terme de produire de manière stable est suffisante (Peterson et al., 2018).

- 3- Résistance : La première définition donnée à ce terme, elle provient des sciences physiques telle que la résistance d'un matériau signifie sa dureté, sa solidité, sa fermeté et sa force à faire face à un choc extérieur. En agriculture, le terme résistance est utilisé pour indiquer la capacité d'un agrosystème à faire face aux chocs ponctuels ou chroniques en réduisant les impacts négatifs et en absorbant les effets dommageables d'une perturbation (Twigg, 2009). En d'autres termes, la résistance indique la capacité du système à faire face aux déclins des indicateurs (ex. rendement, revenu, etc.) ou des différents paramètres de croissance (ex. indice de surface florale) provoqués par des perturbations (Peterson et al., 2018).
- 4- Récupération : elle désigne le fait de se relever ou se rebondir après un événement perturbateur du fonctionnement normal de l'agrosystème. Pour certains auteurs, la récupération est une forme d'adaptation du système aux changements en revenant dans un délai précis à l'état initial (Quenault, 2013). Peterson et al. (2018) dans son article, considère que la mesure de la résilience du système après un choc, nécessite l'étude de sa récupération, c'est-à-dire sa vitesse de reconstruction lorsque les conditions s'améliorent.

Finalement, la résistance et la récupération sont deux composantes liées à la capacité adaptative du système à moyen et à court terme. Leur pertinence se diffère d'un système à l'autre. Par exemple, pour le système extensif, l'évaluation et l'amélioration de la récupération sont primordiales pour maintenir le bon fonctionnement après l'exposition aux chocs. Alors que, pour un système intensif, l'étude de la résistance semble plus pertinente que la récupération tant que les efforts pour réduire les pertes en termes de productivité sont assurés (Peterson et al., 2018).

#### **1.4. Comment améliorer la résilience d'un système ?**

Plusieurs études ont souligné l'importance de différents facteurs et stratégies nécessaires pour les systèmes d'exploitation agricoles afin de renforcer leur performance et leur capacité à résister, à récupérer ou à s'adapter aux perturbations inattendues. Ces stratégies peuvent être techniques comme la diversification des cultures et des sources fourragères, l'innovation et l'irrigation (Lefeuvre, 2018), ou environnementales telles que la fourniture des services environnementaux (Aspar, 2019), ou bien économiques comme la diversification des activités et des circuits de commercialisation (El Amrani et al. 2018) ou humaines comme la vulgarisation et l'encadrement périodiques des agriculteurs (Camille, 2018). Le tableau 1 présente les pratiques et les stratégies les plus recommandées dans différentes études scientifiques sur la résilience agricole.

## Cadre théorique de la résilience & Problématique de l'étude

**Tableau 1 : Stratégies d'amélioration de la résistance, la récupération et donc de la résilience des systèmes d'exploitation agricoles**

Systèmes d'exploitation	Systèmes de cultures	Systèmes d'élevages	Sources
<b>Facteurs d'amélioration de la productivité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ L'innovation</li> <li>✓ Sélection variétale- sélection des races</li> <li>✓ Développement de la mécanisation pour améliorer la productivité du travail<sup>1</sup></li> </ul>		Douillet et Girard, (2013) Camille, (2018)
<b>Leviers d'amélioration de la récupération des systèmes d'exploitation après un choc climatique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Diversification des cultures : diversification d'assolement et allongement des rotations ;</li> <li>✓ Faire des associations en mélangeant plusieurs espèces ;</li> <li>✓ Choix d'espèces tolérantes aux chocs climatiques ;</li> <li>✓ Sélection des variétés tolérantes aux chocs climatiques ;</li> <li>✓ Améliorer la disponibilité en eau <math>\Delta S = P - (ETP + R + D)</math> avec P est la pluviométrie, ETP évapotranspiration, R est le ruissellement et D est le drainage ; <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenir une couverture du sol ;</li> <li>• Limiter le labour (travail superficiel) ;</li> </ul> </li> <li>✓ Limiter le stress hydrique via la fourniture de services environnementaux notamment : le maintien ou la plantation des haies en bordures de champs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Semer des prairies multi-espèces ;</li> <li>✓ Choisir les races résistantes à la sécheresse ;</li> <li>✓ Adapter les périodes de mises bas pour limiter la demande sur les périodes à risque ;</li> <li>✓ Cultiver des mélanges d'espèces en cultures fourragères ;</li> <li>✓ Diversifier les sources de fourrage ;</li> <li>✓ Limiter les impacts de la sécheresse sur les prairies et les troupeaux par l'agroforesterie : via l'implantation ou le maintien des haies en bordure de parcelle.</li> </ul>	Lefeuvre, (2018), Bonte, (2010) et Aspar, (2019)  Aspar, (2019)  Touali (2019)
<b>Autres stratégies d'amélioration</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Stratégie de minimisation du risque de choc climatique par le recours au bail ;</li> <li>✓ Stratégie de diversification des systèmes d'activités pour améliorer la résistance aux chocs inattendus ;</li> <li>✓ Stratégie de diversification des circuits de distribution ou de commercialisation des outputs agricoles.</li> </ul>		El Amrani et al. (2018)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Irrigation : introduction de nouvelles technologies pour l'irrigation des cultures notamment celles à forte valeur ajoutée ;</li> <li>✓ Vulgarisation et encadrement des agriculteurs ;</li> <li>✓ Faciliter l'intégration des agriculteurs au marché.</li> </ul>		Camille, (2018)

## II - Problématique & objectifs de l'étude

L'analyse de la résilience des systèmes agricoles face aux perturbations est parmi les défis majeurs de l'agriculture en général et des terrains agricoles dans les zones arides en particulier (Rivington et al. 2007 et Dauphiné et Provitolo, 2007). Les zones arides sont très fragiles et souvent éloignées des marchés et aux différents services avec des ressources bien limitées et un accès insuffisant au savoir-faire et aux technologies, ce qui limitent leur capacité à se diversifier ou à s'adapter aux différentes situations critiques (Boto et al. 2013).

Généralement, la résilience est considérée comme la capacité d'un système à persister, à maintenir son fonctionnement et à retourner à l'état initial ou à l'état d'équilibre, face à un choc donné (Holling, 1973). Elle est basée sur trois options principales : la stabilité, la résistance et la vitesse de retour à l'état initial de base (Holling et Guderson (2002) cité par Bar et al., (2011). Elle fait référence à la capacité d'un écosystème à absorber et à conserver sa fonction, son identité et son organisation face à un ou à plusieurs types de chocs (Holling, 1996). Par conséquent, de nombreux chercheurs définissent la résilience des systèmes agricoles comme leur capacité à s'adapter et à absorber les effets négatifs tout en conservant la même structure et le même niveau de productivité (Conway, 1987).

Plusieurs articles scientifiques ont traité la question de la résilience en agriculture, notamment des études purement théoriques sur le concept de la résilience et les différents fondements conceptuels associés à ce dernier (ex. le risque, la vulnérabilité, la résistance, la capacité et etc.) (Lallau et Thibaut, 2009), des études sur les déterminants de la résilience (Galland, 2016) et un grand nombre d'études sur les leviers et les stratégies nécessaires pour améliorer la résilience agricole (Douillet et Girard (2013), Camille (2018), Lefeuvre (2018), Bonte (2010), etc.). En fait, ce qui rare dans la littérature en rapport avec cette question de résilience, ce sont les approches quantitatives d'évaluation qui permettent de mesurer concrètement cette dernière. Et la rareté devient plus importante lorsqu'il s'agit d'une évaluation à l'échelle de l'exploitation agricole.

Dans cette optique, la problématique de l'étude sera basée sur deux aspects principaux, qui sont rarement détaillés dans la littérature : l'élaboration d'une approche quantitative d'évaluation de la résilience et l'évaluation à l'échelle de l'exploitation agricole. Cette problématique peut être formulée comme suit : « **Quelles sont les étapes et les éléments nécessaires à prendre en considération pour analyser quantitativement la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole ?** ». Donc, l'objectif principal de cette étude est de proposer une approche quantitative avec des étapes claires pour pouvoir évaluer le niveau de résilience d'une exploitation agricole. A noter que les objectifs spécifiques assignés sont les suivants :

- Préparer un cadre théorique pour une meilleure compréhension conceptuelle de la résilience, la résilience des agrosystèmes, la mesure de la résilience et etc.
- Tracer un schéma d'un cadre opérationnel pour évaluer quantitativement la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole ;
- Préparer l'approche méthodologique et les outils statistiques indispensables pour appliquer le cadre d'analyse proposé ;

- Appliquer le cadre d'analyse sur un exemple de système d'exploitation en Algérie : « étude de cas »
- Formuler des conclusions et des recommandations à partir des résultats d'analyse obtenus.

**Deuxième partie :**

**Cadre d'analyse : Approche quantitative  
d'analyse de la résilience à l'échelle de  
l'exploitation agricole**

## I - Définition et représentation d'un cadre d'analyse opérationnel pour mesurer la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole

L'évaluation quantitative de la résilience des systèmes agricoles est très rare dans la littérature, en particulier à l'échelle de l'exploitation agricole (Soussi et al. 2017). Cette rareté peut s'expliquer par la grande diversité des exploitations et la multitude des interactions entre les différentes composantes biophysiques et socio-économiques que les composent. Aujourd'hui, l'évaluation de la résilience est surtout réalisée d'une façon quantitative à l'échelle de la parcelle ou d'une façon plus qualitative à l'échelle d'un territoire (Villar et David, 2014). Donc, ce travail ambitionne de réaliser une analyse de la résilience des systèmes agricoles en mobilisant un cadre d'analyse quantitatif opérationnel basée sur la modélisation bioéconomique.

### 1. Composantes du cadre d'analyse : Trois questions de la résilience

Pour définir les composantes de ce cadre, la nature et l'ampleur des chocs auxquels les exploitations sont confrontées ainsi que les indicateurs socio-économiques et environnementaux à évaluer, les trois questions suivantes constituent la base du cadre d'analyse retenu (Carpenter et al. 2001 et Soussi et al. 2017) :

- **Résilience de quoi (L'échelle d'évaluation)** ? L'analyse de la performance d'un système d'exploitation est souvent longue et compliquée. Cette complexité est due aux différentes interactions que présente l'exploitation (Soussi et al. 2017) : 1) la parcelle en tant qu'élément de base de production agricole. Elle constitue le lieu où se déroule les échanges de flux en lien avec la croissance de la plante (eau, matière organique, rendement, etc.), 2) l'exploitation en tant qu'échelle spatiale où les décisions de production, de commercialisation ... sont prises, 3) le territoire comme étant l'environnement extérieur de l'exploitation. C'est à cette échelle que les aides ainsi que les contraintes s'exercent sur l'exploitation : accès au marché, main d'œuvre, accès aux ressources hydriques, etc.

Donc, pour analyser la résilience des systèmes d'exploitation, il est primordial de prendre en considération : le niveau de production enregistré chaque année, les conditions de production sur le terrain et le positionnement de l'exploitation vis-à-vis de son environnement extérieur notamment les autres exploitations agricoles et le marché.

- **Résilience à quoi (nature et ampleur des chocs)** ? La structure et le fonctionnement des systèmes d'exploitation agricoles peuvent être affectés par plusieurs éléments perturbateurs. Ces perturbations peuvent être soit des forces extérieures de type naturelles (comme la sécheresse, l'augmentation des températures moyennes, les ravageurs, les mauvaises herbes, les inondations, la pénurie d'eau, la salinité des sols et etc.) (Parsonson-Ensor et Saunders, 2011) ou de type économiques/humaines (comme l'augmentation des prix d'intrants, l'inflation, la baisse des prix de vente, la baisse de revenu, la modification des préférences des consommateurs, l'augmentation du coût de la main d'œuvre, la concurrence multinationale, la baisse des subventions et etc.) ou encore des chocs macroéconomiques comme les instabilités politiques, les barrières tarifaires et etc.

Dans la littérature, plusieurs auteurs ont insisté sur le choix de l'échelle temporelle de la résilience (Programme alimentaire mondial WFP, 2014). La mesure de cette dernière dépendra de la nature des perturbations étudiées et le temps nécessaire pour pouvoir observer et mesurer les impacts sur le système agricole (de T0 à T1). A noter que l'échelle temporelle choisi ne doit pas être très court pour donner le temps à l'agrosystème de réagir face au choc et en même temps, elle ne doit pas être très longue afin de minimiser les incertitudes liées aux changements de politiques publiques, à la volatilité des prix de produits agricoles, aux innovations et etc. (Soussi et al., 2017).

- **Résilience de quelles caractéristiques ?** Pour étudier la résilience des systèmes d'exploitation face aux chocs, il est intéressant d'étudier la stabilité de différents indicateurs socio-économiques et environnementaux (Soussi et al., 2017). Le choix de ces indicateurs, pourra être fait en fonction de leur pertinence et leur poids dans l'évolution des trois principaux capitaux des exploitations agricoles : (1) le capital naturel (KN) composé principalement par les ressources (notamment l'eau), la terre et les écosystèmes, (2) le capital humain (KH) lié principalement à la main d'œuvre permanente et saisonnière et son niveau de qualification (compétences et connaissances) et (3) le capital économique (KE) lié à la rentabilité, à la liquidité et aux rendements de l'exploitation (Soussi et al. 2017).

## **2. Etapes du cadre d'analyse : Résilience des systèmes d'exploitation agricoles**

Afin de bien mettre en évidence la logique du cadre d'analyse élaboré pour analyser la résilience des systèmes d'exploitation, nous proposons les trois étapes suivantes :

### **2.1. Choix des indicateurs socio-économiques et environnementaux**

L'étape de choix des indicateurs socio-économiques et environnementaux qui traduisent l'évolution des trois capitaux ciblés, est primordiale pour étudier la stabilité moyenne de chaque capital du système d'exploitation après l'exposition à une perturbation naturelle ou humaine et par conséquent, le choix pertinent de ces derniers va assurer une meilleure catégorisation du comportement des exploitations agricoles étudiées.

Pour le capital naturel, les principaux indicateurs choisis pour mesurer et justifier le niveau de la résilience agricole sont la SAU cultivée, la SAU louée, le travail du sol ( labour ou semis direct), les surfaces fertilisées/SAU totale, le pourcentage des sols couverts/SAU totale et la salinité des sols pour la composante « Terre », les surfaces irriguées/SAU totale, le volume issu de la récupération des eaux de pluie par le volume d'eau d'irrigation consommé et le nombre de source d'eau pour la composante « Ressource en eau » et le nombre d'espèces végétales et de variétés utilisées, le nombre d'infrastructures agroécologiques et l'engagement à des contrats environnementaux comme les mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) et les paiement pour services environnementaux ( PSE) pour la composante «Biodiversité» ( Tableau 2).



**Tableau 2 : Principaux indicateurs pour étudier la résilience de l'exploitation agricole**

<b>Critères</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Justification</b>	<b>Sources</b>
<b>Terres</b>	Surfaces totales cultivées (SAU) (ha)	- Plus la SAU est capable de revenir à son état initial avant le choc, plus le système est résilient.	Soussi <i>et al.</i> (2017) Amigue <i>et al.</i> (2006)
	Stock terres (ha)	- Son augmentation ou sa diminution en achetant /en vendant ou en louant des terres agricoles, peut permettre de garantir un revenu familial constant ou minimum	Soussi <i>et al.</i> (2017)
	Fréquence de retournement du sol/ rotations de cultures	- +Plus cette fréquence est faible (+ semis direct), plus la capacité de l'exploitation à réagir face aux choc climatiques et économiques est importante. - Le semis direct permet de rationaliser d'une part la compagne agricole et d'autres par la préservation de la biodiversité, la limitation de l'érosion et etc.	Fourrie <i>et al.</i> (2013) Billa <i>et al.</i> (2010)
	Surfaces fertilisées totales/SAU	- Plus les terres sont bien fertilisées, plus la capacité à faire face aux chocs naturels est élevée.	Fourrie <i>et al.</i> (2013)
	% sols couverts/SAU/an	- Plus les aménagements des sols sont assurés, plus le sol est couvert, plus il aura la capacité de réagir aux chocs qui peuvent provoquer de l'érosion.	FNCIVAM (2008)
	Salinité des sols	- Plus la salinité est élevée dans le sol, plus la sensibilité de ce sol est élevée en cas de chocs climatiques.	Soussi <i>et al.</i> (2017)
<b>Utilisation de la ressource en eau</b>	Quantité de l'eau d'irrigation (m <sup>3</sup> )	- Différents chocs peuvent affectés le stock de la ressource en eau et donc la quantité nécessaire pour irriguer toutes les cultures de l'exploitation.	Fourrie <i>et al.</i> (2013) FNCIVAM (2008)
	Volume issu de la récupération des eaux de pluie/volume d'eau d'irrigation consommé	- Il permet de montrer le niveau de dépendance de l'exploitation à l'eau de pluie pour l'irrigation des terres. - Si l'exploitation est très dépendante à la pluie pour l'irrigation, elle sera très sensible aux périodes de sécheresses (chocs climatiques)	Chenoune <i>et al.</i> , 2017 Fourrie <i>et al.</i> (2013)
	Nombres de sources d'eau	- Si l'exploitation se caractérise par une diversité de sources d'eau pour l'irrigation, elle sera capable de faire face aux perturbations pluviométriques et aux périodes de sécheresse en général.	Fourrie <i>et al.</i> (2013)
<b>Ecosystème (Biodiversité)</b>	Nombre d'espèces végétales Nombre de variétés	- La diversité de culture de l'exploitation permet d'une part l'amélioration de la résistance devant les chocs (économiques climatiques et etc.) et d'autres part la préservation de la biodiversité.	Lefeuve (2018) Fourrie <i>et al.</i> (2013)
	% d'infrastructures agroécologiques (Haies, ...) Engagement à des contrats environnementaux (MAEC, PSE et etc.)	- La diversité des infrastructures agroécologiques (IAE) et la fourniture des services environnementaux dans le cadre des PSE ou des MAEC par exemple, permettent à l'exploitation d'être capable à protéger sa biodiversité et de faire face aux phénomènes de l'érosion et etc.	Touali (2019) Fourrie <i>et al.</i> (2013)

Pour le capital économique, les principaux indicateurs étudiés pour la composante « Production végétale et animale » sont : l'assolement, l'effectif bovin et ovin et la production laitière. Pour la « Rentabilité », un large choix d'indicateurs peut être fait notamment : la marge brute, la marge brute animale, la marge brute végétale, le revenu net, l'excédent brut d'exploitation (EBE), les charges opérationnelles ou les consommations intermédiaires et les charges de mécanisation. La même chose pour la liquidité ou l'autonomie de l'exploitation, différents indicateurs peuvent être étudiés, notamment : la trésorerie disponible pour l'autofinancement et les prélèvements privés (Fourrie et al. 2013) et le taux d'endettement pour comprendre le niveau de dépendance de l'exploitation aux financements extérieurs (Parsonson-Ensor et Saunders, 2011) (Tableau 3). Il est à noter que plusieurs indicateurs peuvent être corrélés surtout lorsqu'il s'agit de scénarios simples : par exemple, la marge brute agricole est souvent fortement et positivement corrélée au rendement des cultures, dans le cas où les prix de vente sur le marché sont maintenus constants (Soussi, 2017 et Mghirbi, 2016).

**Tableau 3 : Principaux indicateurs des trois composantes du capital économique (KE)**

<b>Critères</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Justification</b>	<b>Sources</b>
<b>Production animale et végétale</b>	Assolement végétale	- Plus l'assolement est diversifié, plus la capacité de faire face aux chocs économique et climatiques est élevée.	Fourrie et al. (2013) FNCIVAM (2008) Bonte (2010)
	Effectif bovin/ovin Production de lait	- La diversification en production animale et végétale dans l'exploitation permet une compensation des pertes économiques suite à des chocs inattendus.	Fourrie et al. (2013)
<b>Rentabilité</b>	Marge brute Marge brute végétale Marge brute animale	- Plus la capacité d'adaptation de l'exploitation est importante, plus la marge brute et les autres indicateurs économiques sont stables après une perturbation donnée.	Fourrie et al. (2013) Claude Huchon et al. (2018)
	Revenu net Excédent brute d'exploitation (EBE) Charges opérationnelles Charges de mécanisation		Bar et al., (2011)
<b>Liquidité (Autonomie)</b>	Trésorerie disponible (Investissement et prélèvements privés)	- Plus la trésorerie est importante, plus l'exploitation aura la capacité de réagir face aux différents chocs.	Belot (2016) Fourrie et al. (2013)
	Dépendance aux financements extérieurs à court, à moyen et à long terme (Taux d'endettement)	- Le taux d'endettement à CT et à LMT peut augmenter si l'exploitation se trouve dans une situation difficile suite à un choc inattendu	Parsonson-Ensor et Saunders (2011) Fourrie et al. (2013)

Finally, the study of human capital is generally carried out by relying on several quantitative indicators notably: the number of family, permanent and seasonal workforce, the number of employees per hectare, the number of working hours per week as well as the productivity of work calculated by making the ratio between production and the quantity of work used. Without forgetting the indicators that describe the training and the development of the level of the workforce, for example: the number of training provided to workers of the exploitation in order to introduce new technologies or to modify and develop the technical production itineraries or even to better use the phytosanitary products, ... (Tableau 4).

**Tableau 4 : Principaux indicateurs du capital humain**

<b>Critères</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Justification</b>	<b>Sources</b>
<b>Main d'œuvre</b>	- Nombre total de la main d'œuvre familiale, permanente et saisonnière	- De variations importantes en termes de quantité et de productivité de travail sont susceptibles d'être observées notamment pour la main-d'œuvre manuelle suite à des perturbations climatiques ou économiques.	Cameron (2014)
	- Nombre d'employés par hectare		Douillet et Girard (2013)
	- Nombre d'heures de travail par semaine (Quantité de travail)		
	- Productivité de travail (Production/ quantité de travail utilisée)		
<b>Formation de la main d'œuvre</b>	- Nombre de formations organisées par an pour la main d'œuvre de l'exploitation	- Plus la main d'œuvre est formée plus elle est à jour avec les nouvelles technologies, plus l'exploitation aura la capacité de réagir en cas de choc.	Berranen, (2009)

## **2.2. Etude de stabilité des indicateurs par capital**

For analyzing the resilience of the exploitation system, the study of stability of indicators chosen according to their weight and their relevance vis-à-vis the three capitals and the study context, is considered primordial.

This study of stability allows first of all to compare between two situations: the initial situation before the shock ( $S_0$ ) and the final situation after the shock ( $S'$ ), then to detect the different changes registered after the exposure to the shock and finally to understand the behavior of the capitals of the exploitation in particular and of the system studied in general in relation to the perturbation exercised.

For this, a statistical analysis approach is necessary to better study the stability of each capital of the exploitation system. It is in fact based on an approach based on the detection of three important elements: la rupture en moyenne, la tendance et la rupture en variance (voir la partie méthodologique).

Le changement de moyenne est le principal critère pour juger la stabilité des différents capitaux étudiés. Ce changement peut se faire soit graduellement sous forme d'une tendance monotone croissante ou décroissante soit assez rapidement sous forme d'une tendance avec saut de la moyenne ou une tendance avec plusieurs sauts de la moyenne (Tendance en escalier) (Pilon et al. 1997) (Tableau 5). La détection des ruptures en variances est également intéressante pour étudier la résistance des capitaux et du système d'exploitation en général face au choc (Parsonson-Ensor et Saunders, 2011), elle se manifeste par une augmentation ou une diminution des fluctuations dans le temps (Pilon et al. 1997) (Tableau 5).

### 2.3. Etude de comportement du système d'exploitation

L'étude de stabilité des trois capitaux en se basant sur l'approche statistique de détection de tendance, de rupture en moyenne et de rupture en variance, elle permet dans un premier temps la catégorisation de cinq comportements des systèmes d'exploitation (Figure 1) (Soussi et al., 2017) :

- Type 1 : Systèmes agricoles réellement résilients (A) : les trois capitaux de l'exploitation sont stables après le choc sans aucun changement significatif.
- Type 2 : Systèmes d'exploitation meilleurs que résilients (B) : c'est le cas où les exploitations obtiennent des résultats meilleurs que la situation initiale, c'est parmi les comportements les plus rares dans les zones arides.
- Type 3 : Systèmes agricoles résilients évolutifs (C) : les exploitations fonctionnent presque aussi bien que dans la situation actuelle, en augmentant leur capital économique, alors que le capital naturel et le capital humain diminuent.
- Type 4 : Systèmes agricoles peu résilients (D) : la performance des exploitations est médiocre, en d'autres termes, le capital économique diminue malgré l'augmentation des autres capitaux (naturel et humain), donc ce déséquilibre pourra faire l'objet de plusieurs propositions stratégiques afin d'atteindre un équilibre sur le plan économique, social et environnemental.
- Type 5 : Systèmes d'exploitation non résilients (E) : les exploitations fonctionnent mal en rencontrant une forte baisse des trois capitaux sous l'effet d'une perturbation inattendue.

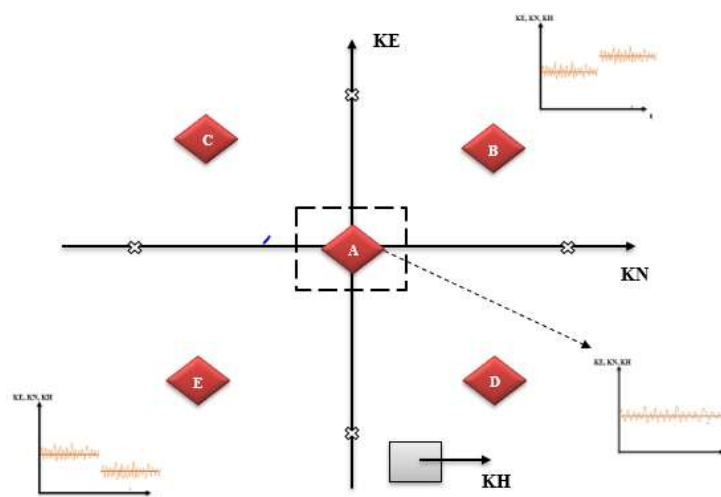


Figure 2 : Indicateurs de résilience- étude de stabilité des trois capitaux du système d'exploitation agricole sur trois dimensions : l'axe x représente la variabilité du KN, l'axe y représente la variabilité du KE et l'axe z représente la variabilité du KH.

Source : (Adaptée - Soussi et al., 2017)

Et dans un deuxième temps, elle permet d'analyser le niveau de résistance du système d'exploitation, telle que plus les amplitudes après le choc sont importantes, plus il y a de risque et plus le système est moins résistant.

→ **Schéma du cadre d'analyse de la résilience des exploitations agricoles**

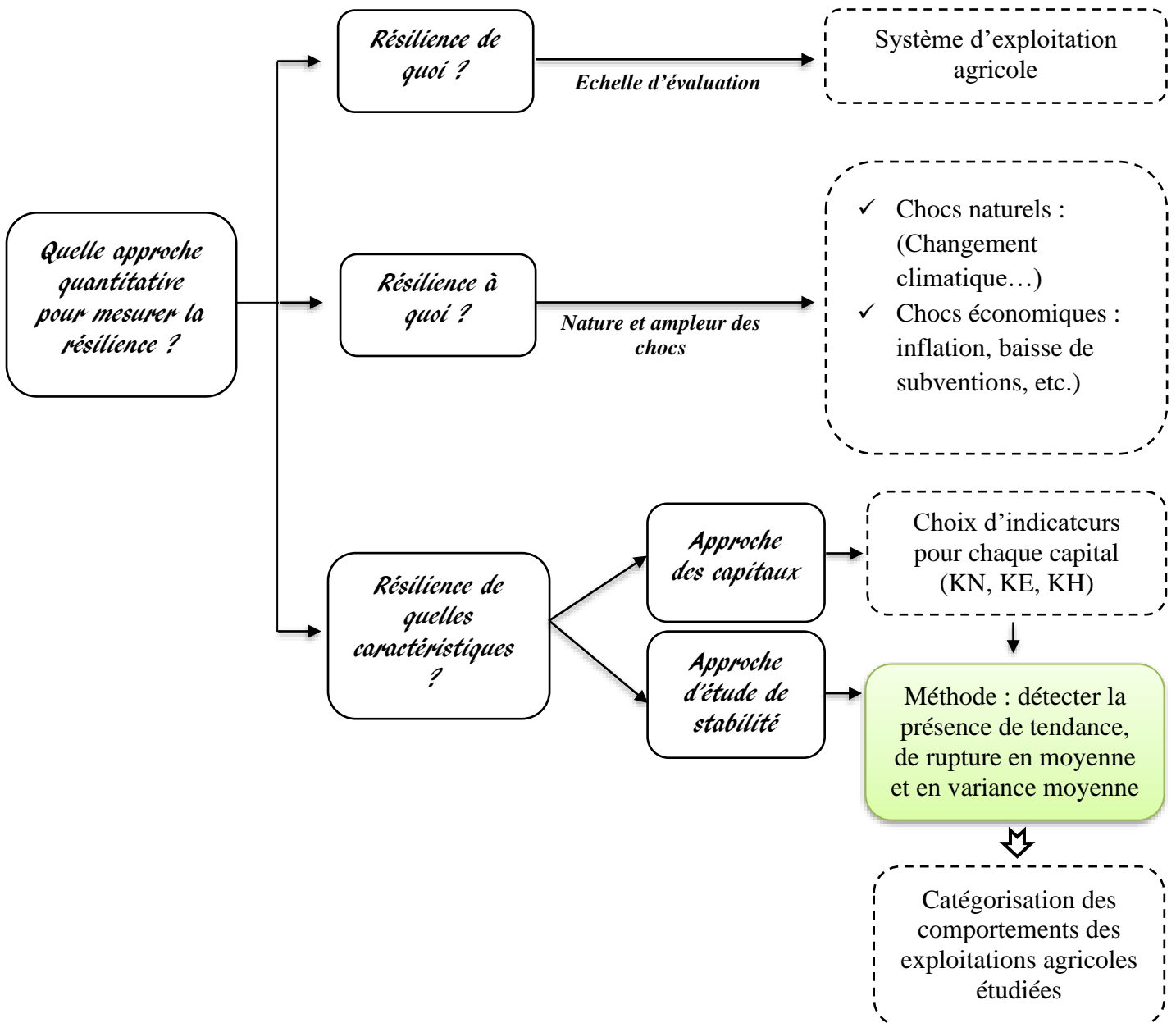


Figure 3: Schéma récapitulatif du cadre d'analyse proposé pour analyser la résilience des systèmes d'exploitation agricoles

## Troisième partie :

# **Approche méthodologique & Présentation de l'étude de cas**

## I - Approche méthodologique : Etapes d'analyse & Etude de cas

Le cadre d'analyse proposé dans la partie précédente pour évaluer quantitativement la résilience agricole, il a été mis en pratique sur une étude de cas d'un système d'exploitation agricole situé dans la wilaya de Sétif en Algérie. Pour ce faire, les étapes suivantes ont été suivies : 1) Présentation de l'exploitation ciblée, 2) Description du choc étudié, 3) Choix des indicateurs en fonction de leur pertinence vis-à-vis l'exploitation étudiée, 4) Etude de stabilité des indicateurs face au choc étudié et finalement 5) étude de comportement de l'exploitation face à ce type de perturbation (Figure 4).

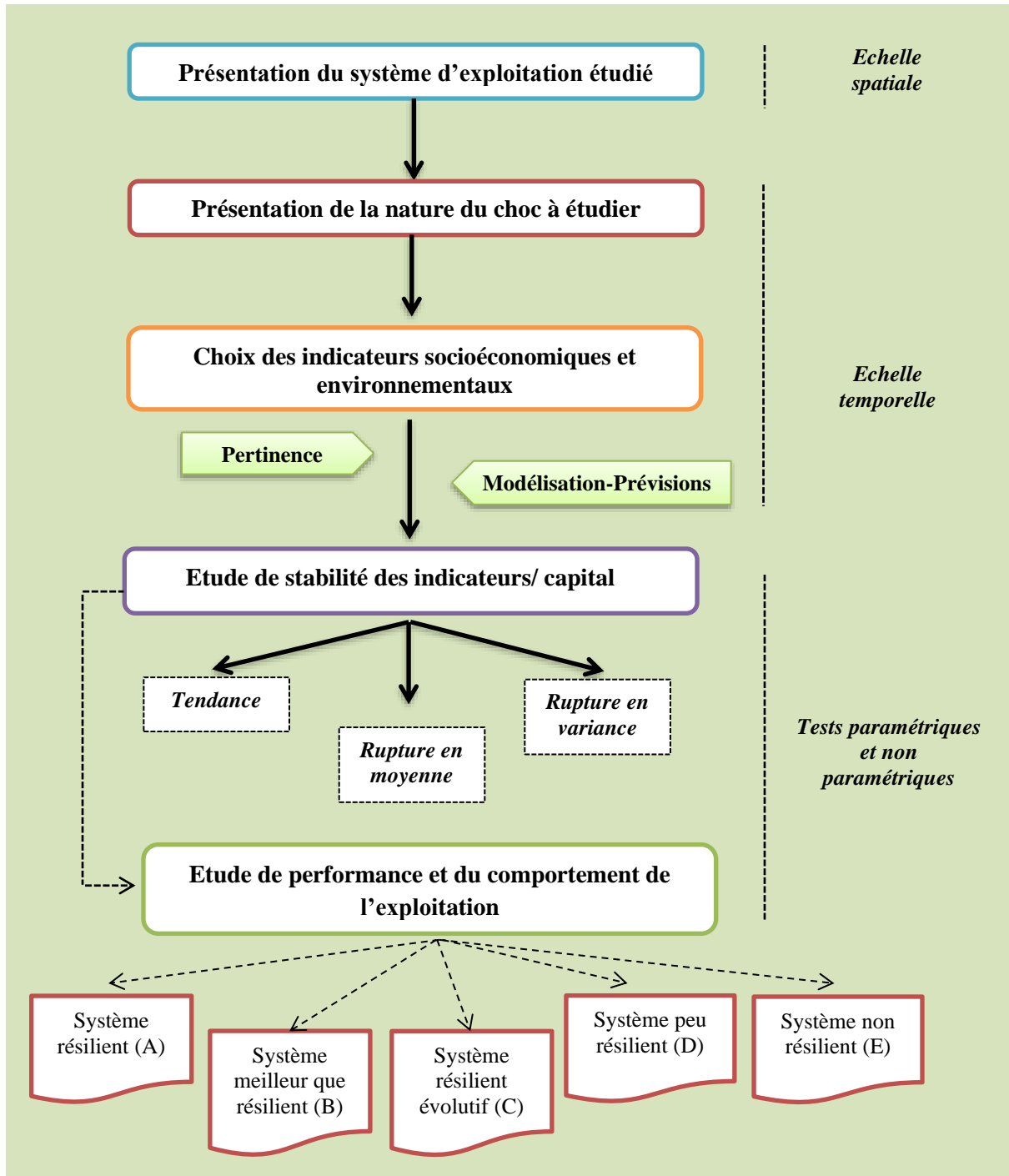


Figure 4 : Etapes de l'approche méthodologique pour appliquer le cadre d'analyse de la résilience proposé

## 1. Présentation du système d'exploitation étudié : Description & Justification

Le système d'exploitation agricole choisi pour appliquer le cadre d'analyse d'évaluation de la résilience proposé dans la partie 2 de cette étude, est situé dans l'étage semi-aride inférieur de la région de Sétif en Algérie avec environ 200 à 300 mm de précipitations par an (Benniou et Brinis, 2006). Il est constitué par des exploitations agricoles de petites tailles (moins de 20 hectares/ exploitation) avec une diversité importante en production végétale et animale (cultures céréalières, cultures maraichères, élevage ovin et élevage bovin) (Camille, 2018). Le tableau 5 présente une description détaillée de toutes les composantes essentielles du système d'exploitation étudié.

Tableau 5 : Description du système d'exploitation étudié : Cas d'étude (Camille, 2018)

<i>Eléments</i>	<i>Description</i>
<b><u>Généralités</u></b>	
<b>Statut de l'exploitation</b>	Exploitation privée
<b>Nombre d'agriculteurs interrogés</b>	3
<b>Pluviométrie annuelle moyenne</b>	250 mm
<b>Irrigation</b>	Culture maraichères - cultures céréalières : irrigation d'appoint
<b>Ressources hydriques</b>	Forage de 108 mètres
<b>SAU</b>	6 ha et 12 ha en location
<b>Elevage</b>	Ovin – bovin
<b>Matériels</b>	Location de la moissonneuse batteuse
<b><u>Système de culture</u></b>	
<b>Rotations</b>	Blé dur → Jachère pâturée Orge → Jachère pâturée Blé dur → Avoine → Maraîchage
<b>Cultures commercialisées</b>	Blé dur, orge, chou-fleur, haricot vert, tomate et poivron
<b>Main d'œuvre</b>	Jusqu'à 20 salariés saisonniers pour les cultures maraichères
<b><u>Système d'élevage</u></b>	
<b>Elevage bovin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avec 7 UZB (Unité Zootechnique Bovine) → Stabulation : en hiver → Semi-stabulation : le reste de l'année</li> <li>• Pour l'alimentation : Pâturage sur les jachères et les chaumes, foin d'avoine en hiver avec du concentré pré-mélangé tout au long de l'année.</li> </ul>
<b>Elevage ovin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avec 45 UZO (Unité Zootechnique Ovine)</li> <li>• Pour l'alimentation : Pâturage sur les jachères et les chaumes, paille de blé en hiver, orge et foin d'avoine pour les reproductrices et pour l'engraissement des agneaux</li> </ul>
<b>Utilisation du fumier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur 6 ha non loués : le fumier est utilisé pour la fertilisation</li> </ul>
<b>Projets visés pour le futur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter la surface en haricot vert qui est très rentable</li> <li>• Mise en place d'une luzernière</li> </ul>



Le choix de ce système d'exploitation est basé sur des raisons géographiques et techniques. La région de Sétif est située à l'est d'Alger, elle est caractérisée par une diversité agricole et une variabilité importante des conditions pédoclimatiques (Annexe1), la pluviométrie annuelle de cette région varie généralement entre 200 et 600 mm en fonction de trois étages climatiques : 1) l'étage semi-aride inférieur (SAI) qui reçoit entre 200 et 300 mm de précipitations par an, 2) l'étage semi-aride centrale (SAC) qui reçoit entre 300 et 400 mm par an et 3) l'étage semi-aride supérieur (SAS) qui reçoit entre 400 et 600 mm par an (Benniou et Brinis, 2006) (Figure5). L'exploitation agricole étudiée se situe plus précisément dans l'étage qui enregistre les précipitations les plus basses dans la région, c'est un étage qui présente une forte vulnérabilité aux effets du changement climatique.

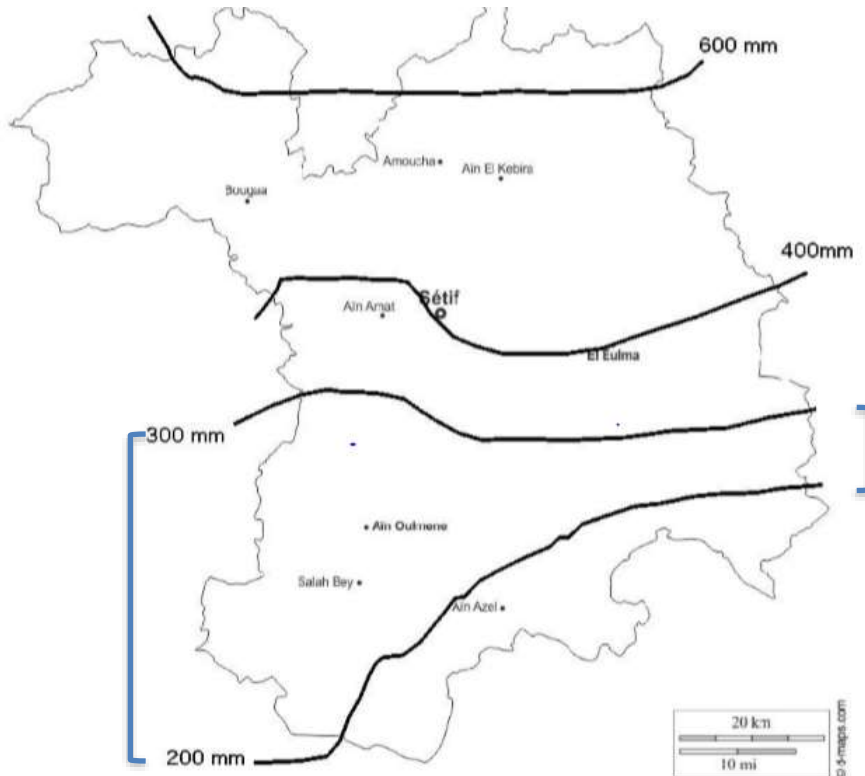


Figure 5 : Représentation des étages climatiques de la région de Sétif (Adaptée par Camille, 2018, de Benniou et Brinis, 2006)

Le système d'exploitation visé se caractérise par une diversité animale et végétale intéressante plus une autonomie importante en termes d'autoconsommation (humaine et animale) et de semences (Camille, 2018). Donc l'analyse de la résilience de ce dernier, va permettre d'étudier le rôle de cette diversité dans l'amélioration de la capacité d'adaptation et de la compensation des pertes provoquées par le choc climatique (les variations de pluviométrie), d'identifier les niveaux les plus vulnérables de l'exploitation (location des terres, location de matériels, liquidité, main d'œuvre et etc.) et finalement d'identifier les capitaux les plus résilients aux perturbations climatiques (KN, KE et KH).

## 2. Présentation du choc étudié

Dans cette analyse, le choc analysé est de la variation de la pluie sur la période 2019-2049 (Figure 6. Cet horizon de 31 ans a été choisi car plusieurs études sur l'impact du changement

climatique recommandent une échelle temporelle d'au moins 20 à 30 ans (Pachauri et al. 2014). Afin d'avoir un changement significatif des éléments perturbateurs et pour pouvoir constater la réaction du système face au choc, les données climatiques futures ont été fournies par le programme SEFRAN (Durand et al, 1993). A noter que le choix d'un horizon de temps assez long, peut engendrer de fortes incertitudes quant aux évolutions du marché (volatilité des prix), des politiques publiques, des innovations et etc. (Soussi et al., 2017).

Finalement, ces prévisions montrent que l'évolution des précipitations totales pendant la période 2019-2049, est très variable ; elle varie d'une année à l'autre entre baisse et hausse. Les années qui enregistrent le niveau de pluviométrie le plus bas sont 2027, 2036, 2039, 2040, 2045 et 2048 et les années avec les niveaux les plus élevés de précipitations sont 2025 et 2037 (58 mm et 55 mm respectivement) sans aucune rupture en moyenne ou en variance (Annexe 1)(Figure 6).

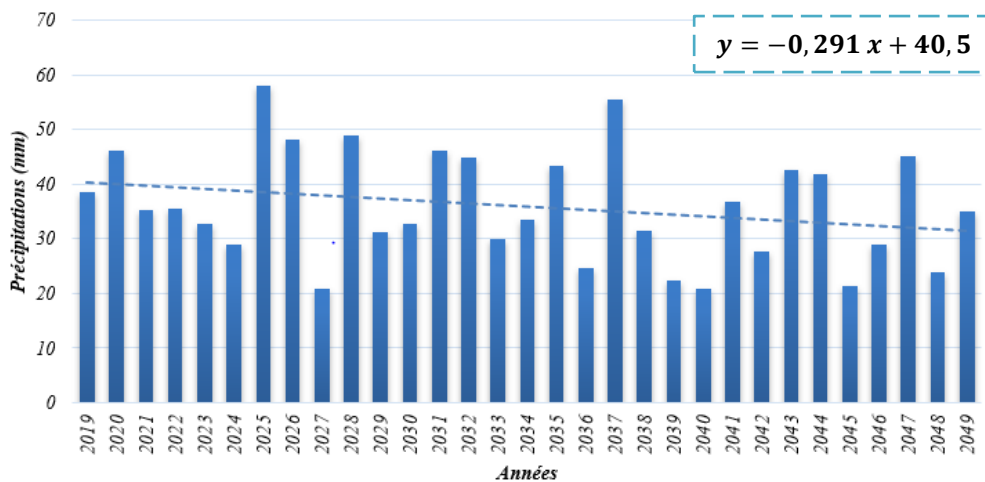


Figure 6 : Evolution des précipitations annuelles totales pendant la période 2019-2049

### 3. Choix des indicateurs : Etude de cas

Afin d'évaluer la résilience du système agricole étudié, en réponse au choc climatique (variations de précipitations), nous avons d'abord sélectionné et calculé des indicateurs socio-économiques et environnementaux représentant les trois types de capitaux (*partie 2 : cadre d'analyse- première étape du cadre d'analyse*), ensuite grâce à des tests paramétriques et non paramétriques, nous avons étudié la stabilité de chaque indicateur en détectant s'il existe une tendance et/ou une rupture en moyenne et/ou une rupture en variance. A noter que, la présence significative d'une rupture en moyenne, signifie que l'indicateur n'est pas stable face au choc et la présence d'une rupture en variance, signifie que l'indicateur se caractérise par une faible résistance face aux évolutions de l'élément perturbateur étudié.

Pour sélectionner ces indicateurs, une démarche a été suivie. Il s'agit en fait, d'une méthode qui commence par un niveau d'analyse plus large, c'est-à-dire une analyse des principaux indicateurs (1 ou plusieurs) de chaque capital, suivi par une analyse plus ciblée, en se focalisant sur un seul indicateur de chaque capital (KN, KE, KH), celui qui représente le poids le plus élevé. Et par conséquent, la combinaison des trois indicateurs, permettra la catégorisation du comportement global de l'exploitation en question.

En adoptant cette démarche, les principaux indicateurs à analyser pour un système d'exploitation agricole dans une zone aride (Région de Sétif en Algérie) sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 6) :

**Tableau 6 : Principaux indicateurs sélectionnés pour évaluer la résilience du système d'exploitation étudié : Etude de cas**

<b>Capitaux</b>	<b>Indicateurs</b>		<b>Pourquoi ?</b>
<b>KN</b>	<b><u>Stock terre</u></b>		L'évolution des terres agricoles en zones arides (achat/location/vente), pourra constituer une vraie solution aux agriculteurs pour garantir un niveau minimum de revenu en cas de perturbations inattendues.
	Quantité de l'eau utilisée pour l'irrigation		Parmi les facteurs limitants dans une zone aride, on trouve la ressource en eau, donc sa disponibilité est importante surtout pour les exploitations agricoles qui cultivent chaque année des cultures dont les besoins en eau sont élevés.
<b>KE</b>	<b>Technique</b>	Assolement céréale Assolement maraichage	L'étude de stabilité de l'assolement pour la production végétale et de l'effectif bovin/ovin pour la production animale, est intéressante pour comprendre le type de production le plus sensible au choc étudié : variations de pluviométrie.
		Effectif bovin Effectif ovin	
	<b>Rentabilité</b>	<b><u>Marge brute</u></b>	C'est parmi les indicateurs les plus importants pour les agriculteurs en zones arides, au moins pour garantir un revenu familial suffisant. Il dépend de plusieurs facteurs notamment le type de système de culture adopté. Par exemple, le choix d'un système qui affecte négativement le sol et l'eau, peut engendrer des pertes en production et par conséquent une baisse significative de la marge brute.
	<b>Liquidité</b>	Trésorerie	L'analyse de stabilité de la trésorerie permet de comprendre : le niveau de liquidité de l'exploitation, la capacité d'investissement de l'exploitation et la capacité de faire face aux perturbations pluviométriques.
Investissement			
<b>KH</b>	<b><u>Quantité de travail</u></b>		La quantité de travail de la main d'œuvre familiale, permanente ou saisonnière, varie en fonction de différents facteurs notamment : le type de systèmes de cultures (maraichage/céréale), les variations climatiques, la disponibilité et le coût de la main d'œuvre dans la région.

Cette analyse par capital, permet de comprendre d'une façon plus générale, le comportement du système d'exploitation étudié face aux perturbations pluviométrique tout au long de la période 2019-2049.

Pour pouvoir classer notre exploitation dans la représentation conceptuelle (Figure2) du cadre d'analyse de la résilience proposé dans la partie 2 du rapport, nous avons ciblé trois indicateurs

pour les trois capitaux étudiés, ce sont des indicateurs qui se caractérisent par un poids intéressant surtout lorsqu'il s'agit d'une zone aride (Région Sétif en Algérie) :

- **Pour le capital naturel** : l'indicateur « Stock terre » notamment la location des terres est parmi les pratiques les plus souvent adoptées par les agriculteurs pour compenser les pertes provoquées par les chocs climatiques et économiques.
- **Pour le capital économique** : L'indicateur « Marge brute », Il est évident que pour tous les agriculteurs, la marge brute est intéressante pour la durabilité des activités et de l'exploitation agricole.
- **Pour le capital humain** : l'indicateur « Quantité de main d'œuvre » est intéressant pour étudier l'impact des variations climatiques sur la quantité de travail nécessaire pour le bon déroulement des pratiques agricoles. Il varie en fonction de plusieurs facteurs notamment : le type de système de culture, la disponibilité et le coût de la main d'œuvre dans la région et etc. (Voir tableau 7).

Ces données ont été générées à l'aide d'une chaîne de modélisation, sur la base des données quantitatives collectées auprès des agriculteurs dans la zone d'étude.

#### 4. Modélisation bioéconomique

Le modèle bioéconomique adopté pour l'évaluation de la résilience des exploitations agricoles dans la plaine de Sétif en Algérie, est un modèle de programmation linéaire qui a été réalisée avec GAMS (The General Algebraic Modeling System) dont les données collectées sont obtenues à l'aide de la bibliographie, des rendements obtenus par le logiciel CropWat et des enquêtes réalisées auprès des agriculteurs (Camille, 2018).

Ce modèle optimise une fonction objectif en visant un assolement plus une conduite de l'élevage en fonction de plusieurs contraintes notamment : la terre, l'eau, la capacité d'investissement, la main d'œuvre, les rotations (Précédent-Suivant) et l'alimentation animale (Camille, 2018).

##### 4.1. La fonction objectif

La fonction objectif maximise le revenu de l'agriculteur en tenant compte son aversion au risque (Camille, 2018). Le risque économique est représenté par l'état de nature du marché, tandis que le risque climatique est pris en considération selon les différentes fluctuations pluviométriques.

$$U = f(x) = \sum MB(t) - \sum (e * \sigma(R(t)))$$

Avec :

- **MB (t)** : la marge brute pour une année t ;
- **e** : le coefficient d'aversion au risque, calculé empiriquement ;
- **$\sigma(R(t))$**  : l'écart type de revenu moyen.

## 4.2. Les contraintes

### 4.2.1. Contrainte terre

Pour cette contrainte terre, la somme des SAU utilisées pour chaque culture de l'exploitant est inférieure ou égale à la SAU totale de l'agriculteur et la SAU louée (Camille, 2018). La formule de la contrainte est la suivante :

$$\sum_{(c,pr,s,qs,t)} x(c, pr, s, i, qs, t) \leq SAU + SAUloc(t)$$

Avec :

- $x(c, pr, s, i, qs, t)$  : la surface utilisée pour chaque culture (c), associée à un précédent cultural (pr), un statut foncier (s), une conduite (i), un sol (qs) pour une année t ;
- $SAU$  : la surface foncière possédée par l'agriculteur ;
- $SAUloc(t)$  : la surface louée par l'agriculteur pour une année t.

$$CTloc(t) = Ploc * SAUloc(t)$$

Avec :

- $CTloc(t)$  : le coût total de la location des terres pour une année t ;
- $Ploc$  : Le prix de location moyen d'un hectare ;
- $SAUloc(t)$  : la surface louée par l'agriculteur pour une année t.

La somme des cultures réalisées sur des terres propres de l'exploitant es inférieure ou égale à la SAU foncière possédée par l'agriculteur.

$$\sum_{(c,pr,s,qs,t)} x(c, pr', propre', i, qs, t) \leq SAU$$

La somme des cultures réalisées sur des terres louées est égale à la surface des terres louées par l'agriculteur.

$$\sum_{(c,pr,s,qs,t)} x(c, pr', louée', i, qs, t) \leq SAUloc(t)$$

### 4.2.2. Contrainte capacité d'investissement

Pour cette contrainte, la totalité des charges de l'exploitation sur une année est inférieure à la trésorerie de la fin de l'année précédente, en prenant en considération les opérations de vente ou d'achat des ovins ou des bovins de l'année en cours pour bien préciser la liquidité de l'exploitation (Camille, 2018).

$$\sum_t CI(c, t) + Cib(t) + Cio(t) + CTloc(t) + CTMO(t) + CEirr + DMm \leq tréso(t) + MB(t - 1) + Varb(t) + Varo(t)$$

Avec :

- $CI(c, t)$  : Consommations intermédiaires de la culture  $c$  l'année  $t$  ;
- $CIb(t)$  : Consommations intermédiaires de l'atelier bovin l'année  $t$  ;
- $CIo(t)$  : Consommations intermédiaires de l'atelier ovin l'année  $t$  ;
- $CTloc(t)$  : Coût total de la location de terres l'année  $t$  ;
- $CTMO(t)$  : Coût total de la main d'œuvre l'année  $t$  ;
- $CEirr$  : Coût d'entretien de l'irrigation par an ;
- $DMm$  : Dépenses annuelles moyennes du ménage ;
- $trésot(t)$  : Trésorerie initiale la première année ;
- $MB(t - 1)$  : Marge brute de l'année précédente ;
- $Varb(t)$  : Vente ou l'achat de bovins permettant d'augmenter la liquidité ou de la baisser ;
- $Varo(t)$  : Vente ou l'achat d'ovins permettant d'augmenter la liquidité ou de la baisser.

A noter que, la trésorerie initiale a été calculée en faisant tourner le modèle sur 10 ans sans choc et en prenant la valeur de la dernière année (Camille, 2018).

#### 4.2.3. Contrainte main d'œuvre

Pour la contrainte de main d'œuvre, pour chaque mois, la somme des besoins en main d'œuvre pour chaque culture et pour l'élevage bovin, est inférieure ou égale à la main d'œuvre disponible plus la main d'œuvre saisonnière. A noter que, pour l'élevage ovin, une seule personne qui le prend en charge.

$$\sum_{(c,pr,s,i,qs,t)} x(c,pr,s,i,qs,t) * MO(c,t) * w(t) * MOb * k(t) * MOo \leq MOf * 30 * 8 * nbhMOs(c,m,t)$$

Avec :

- $MO(c, t)$  : Besoin en main d'œuvre par culture ( $c$ ) par mois ( $m$ ) ;
- $w(t)$  : Nombre d'unité zootechnique bovine (UZB) pour une année  $t$  ;
- $MOb$  : Besoin en main d'œuvre pour une UZB pour un mois ;
- $k(t)$  : Nombre d'unité zootechnique ovine (UZO) pour une année  $t$  ;
- $MOo$  : Besoin en main d'œuvre pour une UZO pour un mois ;
- $MOf$  : Nombre de personnes disponibles dans la famille pour l'activité agricole ;
- $nbhMOs(c, m, t)$  : Nombre d'heure de main d'œuvre sollicitée pendant un mois.

Le coût total de la main d'œuvre saisonnière pour chaque année est le suivant :

$$CTMOs(t) = \sum_{(c,m)} (nbMOs(c, m, t) * CMOs$$

Avec :

- **CTMOs(t)** : Coût total de la main d'œuvre sollicitée à l'année ;
- **nbMOs(c, m, t)** : Nombre d'heure de main d'œuvre sollicitée par culture pendant un mois ;
- **CMOs** : Coût d'une heure de main d'œuvre sollicitée.

#### 4.2.4. Contrainte de précédent-suivant

La contrainte de précédent-suivant a été appliquée pour toutes les cultures de l'exploitant, telle qu'une culture ne peut être mise en place que sur un précédent cultural donné.

$$\sum_{(c,i)} x(c, pr', propre', i, qs, t) \leq SAUpc(pr', propre', qs, t)$$

Avec :

- **x(c, pr', propre', i, qs, t)** : Surface de chaque culture qui est cultivée sur les terres de l'exploitant ;
- **AUpc(pr', propre', qs, t)** : Surface de chaque culture l'année qui précède l'année t sur les terres propres de l'agriculteur.

#### 4.2.5. Contrainte d'alimentation animale

La contrainte d'alimentation animale exprime le besoin en unités fourragères (UF) pour l'alimentation bovine, qui est identique pour l'activité ovine en remplaçant les unités fourragères laitières (UFL) en unités fourragères viandes (UFV) et en ajoutant la possibilité de consommer de l'orge et de la paille de blé (Camille, 2018).

$$beufvuzb(bov) \times w(t) \times uzb(bov) \times 30,5 + bgufluzb \times w(t) \times tfecb \times (280/12) + plait \times w(t) \times tfecb \times bpufluzb \times (1/12) \leq x(c, pr', propre', i, qs, t) \times fourrage(c, m) \times txfour('UFL') + qfoinb(c, m) \times tfoin(c, 'MS') \times tfoin(c, 'UFL') + qconcb \times w(t) \times txconc('MS') \times txconc('UF')$$

Avec :

- **W(t)** : Nombre d'UZB l'année t ;
- **uzb(bov)** : Composition des unités zootechniques bovines (UZB) ;
- **beufvuzb(bov)** : Besoins d'entretien et de croissance en UF pour chaque catégorie de bovins par jour ;
- **bgufluzb** : Besoins de gestion en UF d'une vache laitière ;
- **bpufluzb** : Besoins de production d'un litre de lait en UF ;
- **tfecb** : Taux de fécondité d'une vache laitière ;
- **plait** : Production laitière par UZB par exploitation ;
- **x(c, pr', propre', i, qs, t)** : Surface de chaque culture qui est cultivée sur les terres dites 'propres' (appartenant à l'exploitant) l'année t ;



- *fourage (c,m)* : Quantité de matière sèche disponible sur chaque culture pour le pâturage par mois ;
- *txfour ('UFL')* : Taux en unité fourragère par UFL ;
- *qfoinb (m,t)* : Quantité de foin consommée par mois pour le cheptel bovin ;
- *tfoin (c, 'MS')* et *tfoin (c, 'UFL')* : Respectivement le taux en matière sèche (MS) et le taux en UFL par type de foin ;
- *qconcb* : Quantité de concentré consommée par une UZB par mois ;
- *txconc('MS')* et *txconc('UF')* : Respectivement le taux en MS et en UF du concentré.

La contrainte du besoin en matières azotées digestibles (MAD) pour l'alimentation bovine/ovine est la suivante (Camille, 2018) :

$$bemadvuzb(bov) \times w(t) \times uzb(bov) \times 30,5 + bgmaduzb \times w(t) \times tfecb \times (280/12) + plait \times w(t) \times tfecb \times bpmaduzb \times (1/12) \leq x(c,pr,' propre',i,qs,t) \times fourrage(c,m) \times txfour('MAD') + qfoinb(c,m) \times tfoin(c,' MS') \times tfoin(c,' MAD') + qconcb \times w(t) \times txconc('MS') \times txconc('MAD')$$

Avec :

- *bemadvuzb (bov)* : les besoins d'entretien et de croissance en MAD pour chaque catégorie de bovins par jour ;
- *bgmaduzb* : les besoins de gestion en MAD d'une vache laitière ;
- *bpmaduzb* : les besoins de production d'un litre de lait en MAD.

## 5. Méthodes statistiques d'étude de la stabilité

La méthode utilisée pour étudier la stabilité des indicateurs choisis pour notre étude de cas, est basée sur des tests statistiques paramétriques et non paramétriques (Figure 7), qui permettent la détection de tendance, de rupture en moyenne et de rupture en variance dans une série de données quantitatives (Tableau 7).

- Tendance : est un changement graduel de la moyenne d'une série de données, elle peut être soit croissante de décroissante ;
- Rupture en moyenne (ou saut de la moyenne) : est un changement assez rapide de la moyenne de la série dans un instant t ;
- Rupture en variance : est un changement de variance, qui peut se manifester soit par une augmentation ou une diminution des fluctuations de la série dans le temps.

### 5.1. Tests paramétriques

#### 5.1.1. Tests paramétriques de comparaison de moyenne

Conditions d'application :

- Population mère normale
- Population mère quelconque et échantillon de grande taille ( $n \geq 30$ ) ;
- Echantillon aléatoire et simple.



### 5.1.1.1. Test de normalité

Pour confirmer que l'échantillon étudié provient d'une population avec une distribution normale, il faut tester l'hypothèse nulle suivante :  $H_0$  : « Normalité de la population » à l'aide de deux tests : Kolmogorov-Smirnov (KS) et le test Shapiro-Wilk (SW). Si la p-value  $P > \alpha = 5\%$ , l'hypothèse nulle est acceptée, donc la normalité est confirmée.

### 5.1.1.2. Tests de comparaison de moyennes

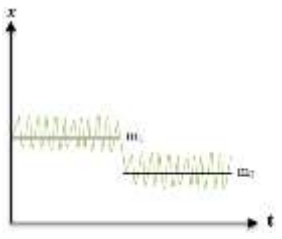
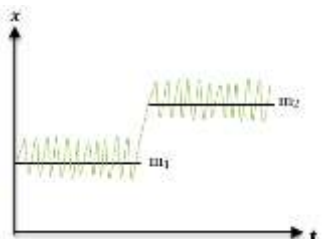
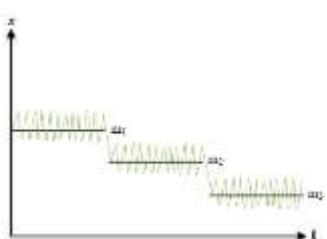
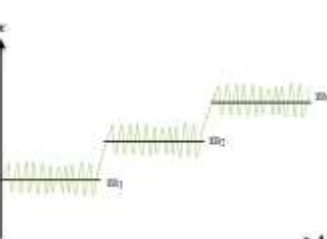
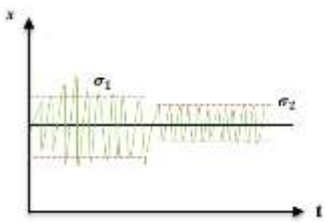
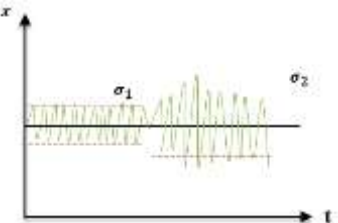
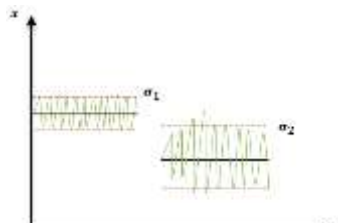
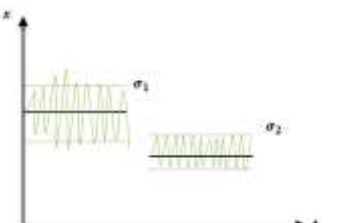
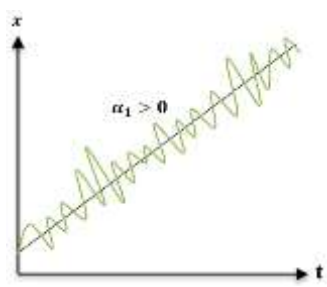
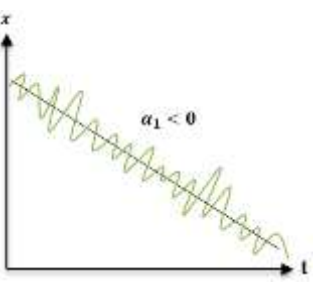
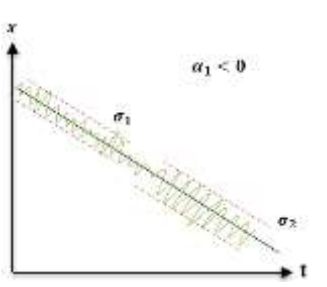
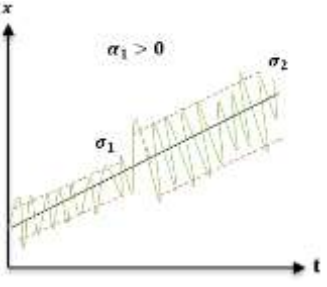
L'étude de ruptures en moyenne des séries de variation des indicateurs observées et simulées associées à chaque capital du système d'exploitation, pourra se faire en utilisant des tests paramétriques comme ceux de comparaison de moyennes.

La rupture en moyenne ou saut de la moyenne, peut être définie par un changement dans la loi de probabilité de variables aléatoires étudiées. Une série où il y a une rupture en moyenne est définie par :

$$x_i \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & ; & i = 1, \dots, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & ; & i = \tau + 1, \tau + 2, \dots, \dots, n \end{cases}$$

Où  $\mu$  représente la moyenne de la série avant la rupture,  $\tau + 1$  représente le moment de rupture de la série,  $\delta$  est l'amplitude de la rupture,  $\mu + \delta$  représente la moyenne après la rupture et  $\varepsilon_i$  est une variable aléatoire indépendante et distribuée  $\varepsilon_i (0, \sigma^2)$ .

Tableau 7 : Différents cas de figures de la tendance et des ruptures en moyenne et en variance des séries temporelles.

Types de ruptures	Les différents cas de figures			
<i>Rupture en moyenne</i>				
	<u><i>Rupture en moyenne (Saut de la moyenne)</i></u>	<u><i>Rupture en moyenne et tendance en escalier</i></u>		
<i>Rupture en variance</i>				
	<u><i>Rupture en variance</i></u>	<u><i>Rupture en moyenne et en variance</i></u>		
<i>Tendance</i>				
	<u><i>Présence d'une tendance monotone</i></u>	<u><i>Présence de tendance et rupture en variance</i></u>		

- $m$  est la moyenne //  $\sigma^2$  est la variance //  $\alpha$  est la pente de la droite de régression

Donc pour identifier la non-stationnarité de la série étudiée, le test paramétrique le plus souvent utilisée est celui de la comparaison de moyennes. Pour ce faire, il faut diviser la série en deux sous-échantillons, correspondent aux données avant et après le moment  $\tau$  où l'on pense qu'il y a une rupture de moyenne et finalement, il faut calculer les moyennes de ces deux sous-périodes et faire le test de comparaison (Test student) à l'aide d'un logiciel statistique comme SPSS en prenant en compte le type des échantillons choisis : 1) Echantillon indépendant : lorsque les individus de l'un sont choisis indépendamment de l'autre ou 2) échantillon non indépendant ou apparié : lorsque les observations ne sont pas réalisées indépendamment les unes des autres. A noter que, l'hypothèse nulle testée  $H_0$  est le suivant :  $H_0 \ll \mu_1 = \mu_2 \gg$ .

*Encadré 1 : Etapes de test de student relatif à la comparaison de moyennes (Pilon et al. 1997)*

**Etape 1 :** Identifier la date à partir de laquelle on souhaite tester l'hypothèse nulle de comparaison des moyennes et calculer la moyenne et l'écart type de chaque sous-échantillon.

**Etape2 :** Tester l'hypothèse nulle d'égalité des moyennes en calculant la statistique t à l'aide d'un logiciel.

**Etape3 :** Si  $P > \alpha = 5\%$  l'hypothèse  $H_0$  ( $AH_0$ ) est acceptée et si  $p < \alpha = 5\%$  l'hypothèse est rejetée ( $RH_0$ ).

### 5.1.2. Tests paramétriques d'égalité de variances

Conditions d'application : Les mêmes conditions des tests de comparaison de moyennes

Dans les séries de données temporelles, on peut constater des changements dans la variabilité, c'est-à-dire, qu'il peut y avoir une ou plusieurs ruptures en variance. Cette variabilité pourra se manifester soit par une augmentation ou une diminution des fluctuations (Pilon et al. 1997). L'hypothèse nulle et alternative à tester sont les suivantes :  $H_0 \ll \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_p^2 \gg$ , c'est ce qu'on appelle l'homoscédasticité et  $H_1 \ll$  il existe au moins deux variances qui ne sont pas égales  $\gg$  : l'hétéroscédasticité.

Afin de tester l'hypothèse nulle  $H_0$ , l'application de différents tests à l'aide d'un logiciel statistique est possible, comme le test de Levene, le test Fisher ou le test Bartlett qui se diffère du test Hartley par sa précision. La première étape à faire pour appliquer ces tests, est de constituer des groupes selon les changements de variabilité constatés, si on trouve 2 groupes, la comparaison sera donc faite entre 2 variances (test de Fisher) et si on trouve p groupes, la comparaison sera faite sur les p variances.

Une fois le test est appliqué, nous pouvons noter la valeur de la statistique du test et sa signification p :

- Si ( $P > \alpha = 5\%$ ), l'hypothèse nulle d'égalité de variances est acceptée ( $AH_0$ ) → (absence de rupture en variance dans la série (Homoscédasticité).
- Si ( $P < \alpha = 5\%$ ), l'hypothèse nulle d'égalité de variances est rejetée ( $RH_0$ ) → Présence d'au moins une rupture dans la série temporelle (Hétéroscédasticité).

*Encadré 2 : Etapes du test d'égalité de variance (Pilon et al. 1997)*

**Etape 1 :** Identifier les différentes ruptures potentielles de variance et diviser la série en k sous-échantillons

**Etape2 :** Calculer la variance de chaque sous-échantillon et appliquer le test de Fisher ou de Levene, à l'aide d'un logiciel statistique.

**Etape3 :** Vérifier l'hypothèse nulle d'égalité de variance

### 5.1.3. Tests paramétriques de la tendance (Régression)

La détection de la présence d'une tendance dans une série de n observations, est possible en utilisant un modèle de régression (Pilon et al. 1997). L'équation de ce modèle est la suivante :  $Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 x_t + \varepsilon_t$  avec  $Y_t$  est la variable dépendante du modèle,  $x_t$  est la variable indépendante du modèle ( variables explicative au temps t),  $\alpha_0$  représente l'ordonnée à l'origine de la droite de régression et  $\alpha_1$  représente la pente de la droite de régression (Bourbonnais, édition 8). L'utilisation de ce modèle suppose les hypothèses suivantes :

$H_1$  : « le modèle est linéaire en  $x_t$  »

$H_2$  : « les valeurs  $x_t$  sont observées sans erreur (  $x_t$  non aléatoire) »

$H_3$  : «  $E(\varepsilon_t) = 0$ , l'espérance mathématique de l'erreur est nulle : en moyenne le modèle est bien spécifié et donc l'erreur moyenne est nulle ».

$H_4$  : «  $E(\varepsilon_t^2) = \sigma_\varepsilon^2$ , la variance de l'erreur est constante (homoscédasticité) »

$H_5$  : «  $E(\varepsilon_t \varepsilon_{t1}) = 0$  si  $t \neq t1$ , les erreurs sont non corrélées, c'est-à-dire une erreur à l'instant t n'a pas d'influence sur les erreurs suivantes »

$H_6$  : «  $Cov(x_t, \varepsilon_t) = 0$ , l'erreur est indépendante de la variable explicative »

La détection de la tendance consiste donc à tester l'hypothèse nulle suivante :  $H_0$  «  $\alpha_1 = 0$  », c'est-à-dire tester l'hypothèse qui suppose que la pente de la droite de régression est nulle (Absence de tendance dans la série n). A noter que l'hypothèse alternative dans ce cas est :  $H_1$  «  $\alpha_1 \neq 0$  » (Présence d'une tendance croissante ou décroissante de la série n).

L'estimation des coefficients du modèle ( $\alpha_0$  et  $\alpha_1$ ) est possible à l'aide des logiciels statistiques comme SPSS, EViews et etc. qui permettent d'abord de tester la signification globale du modèle de régression, ensuite, ils permettent de donner les valeurs des coefficients avec leur signification statistique, et par conséquent, ils permettent de bien vérifier si le coefficient  $\alpha_1$  (pente) est différent ou égale à zéro. Dans le cas où l'hypothèse nulle est rejetée, le signe de la valeur  $\alpha_1$ , permet de montrer la nature de la tendance détectée (croissante ou décroissante) (Pilon et al. 1997).

**Encadré 2 : Etapes de régression linéaire simple (approche de détection d'une tendance)** (Pilon et al. 1997 et (Bourbonnais, édition 8)

**Etape 1** : Vérifier les hypothèses de régression simple

**Etape2** : Tester la signification globale du modèle (ANOVA)

**Etape 3** : Estimer les coefficients du modèle ( $\alpha_0$  et  $\alpha_1$ )

**Etape3** : Tester l'hypothèse nulle  $H_0$  «  $\alpha_1 = 0$  » d'absence de la tendance

→  $\begin{cases} \text{Si } P < \alpha = 5\% \rightarrow RH_0 \rightarrow \text{Présence de tendance} \rightarrow \text{la variable } x_t \text{ contribue dans l'explication de } Y_t \\ \text{Si } P > \alpha = 5\% \rightarrow AH_0 \rightarrow \text{Absence de tendance} \rightarrow \text{La variable } x_t \text{ n'a pas d'effet sur la variable } Y_t \end{cases}$

## 5.2. Tests non paramétriques

### 5.2.1. Tests non paramétriques de comparaison de moyenne

#### 5.2.1.1. Test d'homogénéité le Pettitt (1979)

Le test Pettitt est un test non paramétrique ne nécessitant aucune condition quant à la distribution des données. Il dérive du test de Mann-Whitney basé sur les rangs (Pilon et al. 1997). Il permet de détecter à quelle date la rupture en moyenne a pu se produire dans une série de données chronologique de taille N (Dion et al. 2009 et Slivitzky et Mathier, 1994). Ce test est caractérisé par sa robustesse et sa performance en comparaison avec d'autres tests comme le test Wilcoxon, qui est également un test non paramétrique et libre mais il suppose que la date de rupture est connue à l'avance, or en pratique, ce n'est pas le cas.

L'hypothèse nulle à tester par ce test est la suivante :  $H_0$  « absence de rupture en moyenne dans la série étudiée de taille N » (Paturel et al. 1997). L'hypothèse alternative décrite dans l'article de 1979 de Pettitt :  $H_1$  « il existe un temps  $t$  à partir duquel la variable change de moyenne (soit vers une augmentation ou une diminution) » (Pilon et al. 1997).

Soit la variable  $X_k$  telle que :

$$X_k = 2 R_k - k(N + 1) \text{ avec } (R_k = \sum_1^k r_i)$$

- $k$  : représente le moment de la rupture ( $k = 1, \dots, N$ )
- $r_i$  : représente le rang de l'observation  $x_i$  dans la série entière rangée en ordre croissant
- $R_k$  : Somme des rangs des observations situées avant le moment de rupture
- $X_k$  : Le calcul de la statistique  $X_k$  pour tout  $k$  ( $1, \dots, N$ ) représente la rupture potentielle de la série.

La détermination de la date de rupture  $t$ , peut se faire en évaluant pour quelle valeur de  $k$  la statistique  $X_k$  est maximale ou minimale, vu que le changement de la moyenne peut être soit une augmentation ou une diminution.

A l'aide d'un logiciel statistique (XLSTAT par exemple), nous pouvons appliquer ce test d'homogénéité de la moyenne (le Pettitt) sur une série de données de taille N. le logiciel permet de tester rapidement l'hypothèse nulle d'absence de rupture, en précisant d'abord la valeur de  $k$ , ensuite la date de rupture  $t$  et finalement la p-value qui permet d'évaluer si la rupture détectée est significative statistiquement ou non.

$$\rightarrow \begin{cases} \text{Si } P\text{-value} < \alpha = 5\% \rightarrow RH_0 \rightarrow \text{Présence de rupture en moyenne à la date } t \\ \text{Si } P\text{-value} > \alpha = 5\% \rightarrow AH_0 \rightarrow \text{Absence de rupture en moyenne} \end{cases}$$

### 5.2.2. Tests non paramétriques de comparaison de variance

Plusieurs tests sont disponibles dans la littérature pour comparer entre les variances de deux sous-échantillons ou entre les variances de  $p$  sous échantillons.

#### 5.2.2.1. Tests d'égalité de deux variances : Test Mood (1954)

Ce test est l'équivalent du test paramétrique Fisher de comparaison de deux variances. Afin d'appliquer ce dernier, il faut d'abord diviser l'échantillon étudié en deux sous-échantillons, ensuite il faut ranger toutes les données en ordre croissant et attribuer un rang à chaque

observation  $x_i$ . A noter que ce test est généralement utilisé pour des échantillons de grande taille où les distributions des populations ne suivent pas une loi normale (Pilon et al. 1997).

**$H_0$  : « égalité des deux variances  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  »**

Soit  $n_1$  et  $n_2$  la taille des deux sous-échantillons avant et après la rupture en variance respectivement, telle que  $N = n_1 + n_2$  :

$x_1, \dots, x_{n_1}$  ; premier sous échantillon avant la rupture

$x_{n_1+1}, \dots, x_N$  ; deuxième sous-échantillon après la rupture

Soit la variable M telle que :

$$M = \sum_{i=1}^n \left[ R_i - \frac{N+1}{2} \right]^2, \text{ avec } R_i \text{ est le rang de l'observation } i \text{ dans l'échantillon total.}$$

Pour un échantillon de grande taille, nous pouvons montrer que la variable M suit approximativement une loi normale de moyenne  $E(M)$  et de variance  $Var(M)$  :

$$E(M) = n_1 \frac{N^2 - 1}{12}$$

$$Var(M) = \frac{n_1 n_2 (N + 1) (N^2 - 4)}{180}$$

Par conséquent, la statistique du test qui permet de vérifier la signification de l'hypothèse nulle d'égalité de variances est la suivante :

$$Z_{obs} = \left| \frac{M - E(M)}{\sqrt{Var(M)}} \right| = \left| \frac{M - E(M)}{\sigma_M} \right|$$

A l'aide d'un logiciel statistique (XLSTAT), nous pouvons appliquer le test Mood sur 2 sous-échantillons pour vérifier l'hypothèse nulle d'égalité des variances.

*{ Si P - value <  $\alpha = 5\%$  →  $RH_0$  → les variances sont différentes → Présence de rupture  
 { Si P - value >  $\alpha = 5\%$  →  $AH_0$  → égalité de variance → Absence de rupture*

D'autres tests non paramétriques de comparaison de variances de deux sous échantillons sont disponibles comme le test de Ansari-Bradley (1960) qui s'applique uniquement dans le cas où les moyennes des sous échantillons sont égales et le test de Moses (1963) qui s'applique dans le cas où les moyennes des sous échantillons sont différentes significativement (Hollander et Wolfe, 1973).

**5.2.2.2. Tests d'égalité de p variances : Test Kruskal-Wallis**

Ce test est utilisé pour comparer plusieurs variances de plusieurs sous-échantillons. L'hypothèse nulle et alternative à tester dans ce cas sont les suivantes :

$H_0$  : « égalité des deux variances  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_p^2$  »

$H_1$  : « Il existe au moins deux variances qui sont différentes (il existe au moins une rupture dans la série étudié »

- ❖ **Etape 1** : Identifier les moments de ruptures potentielles dans la variance et constituer  $k$  sous-échantillons.
- ❖ **Etape 2** : Calculer les  $D_{ji}$  qui représentent les rangs liés à la valeur absolue de chaque observation à la moyenne générale :  $D_{ji} = |x_{ji} - moy(x)|$  avec  $i = 1, \dots, k$  ;  $j = 1, \dots, n_i$  ;  $x_{ji}$  représente l'observation  $j$  du sous-échantillon  $i$  de taille  $n_i$ . Ensuite, il faut les ranger en ordre croissant et leur associer un rang (Pilon et al. 1997).
- ❖ **Etapes 3** : Calculer la statistique  $k$

$$k = \frac{12}{N(N-1)} \left( \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1) \text{ Avec } R_i \text{ est la somme des rangs de l'échantillon } i \text{ de taille } n_i$$

- ❖ **Etape 4** : Tester l'hypothèse nulle d'égalité des variances

$$\begin{cases} \text{Si } P\text{-value} < \alpha = 5\% \rightarrow RH_0 \rightarrow \text{Il existe au moins 2 variances sont différentes} \rightarrow \\ \text{Présence d'au moins une rupture} \\ \text{Si } P\text{-value} > \alpha = 5\% \rightarrow AH_0 \rightarrow \text{égalité de variance} \rightarrow \text{Absence de rupture} \end{cases}$$

A noter que, à l'aide d'un logiciel d'analyse statistique, nous pouvons tester rapidement l'hypothèse nulle. Dans le cas où  $H_0$  est rejetée, le logiciel (XLSTAT par exemple) permet de donner les p-value pour toutes les combinaisons des sous échantillons étudiés afin de détecter toutes les ruptures en variances existantes.

### 5.2.3. Tests non paramétriques de tendance : Mann-Kendall

Comme le cas des ruptures en moyenne et en variance, différents tests non paramétriques sont utilisés pour tester la signification d'une tendance monotonique. Le test le plus utilisé dans la littérature est le test de Mann-Kendall pour une série de données chronologiques. Son principe est de remplacer les  $n$  valeurs de la série temporelle  $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$  par leur rang  $(r_1, r_2, \dots, r_{n-1}, r_n)$  (Lopez et Leynet, 2011). Les hypothèses à tester sont les suivantes (Lopez et Leynet, 2011) :

- $H_0$  : « Absence de tendance dans la série »
- $H_1$  : « Il existe une tendance dans la série »

Le test statistique  $S$  est le suivant :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(r_j - r_i)$$

$$\text{Où : } \begin{cases} \text{sgn}(x) = +1 & ; \text{pour } x > 0 \\ \text{sgn}(x) = 0 & ; \text{pour } x = 0 \\ \text{sgn}(x) = -1 & ; \text{pour } x < 0 \end{cases}$$

Si l'hypothèse nulle  $H_0$  est vraie,  $S$  approche d'une distribution normale avec les valeurs de moyenne  $\mu$  et de variance  $\sigma^2$  respectivement (Lopez et Leynet, 2011) :

$$\begin{cases} \mu = 0 \\ \sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \end{cases}$$

La statistique z du test est de la forme suivante :  $z = \frac{|S|}{\frac{1}{\sigma^2}}$

A noter que s'il y a des valeurs égales dans la série, la variance  $\sigma^2$  doit être calculée comme suit :

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q E_p(E_p-1)(2E_p+5)}{18}$$

Où  $E_p$  représente le nombre d'égalités trouvées dans la série impliquant p valeurs.

Si le nombre de n valeurs de la série temporelle étudiée est supérieur à 10, un calcul d'une autre variable aléatoire Z est nécessaire (Lopez et Leynet, 2011 ; Yavuz Selim Guclu, 2018) :

$$\left\{ \begin{array}{l} Z = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} ; \text{ si } S > 0 \\ Z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} ; \text{ si } S < 0 \\ Z = 0 ; \text{ si } S = 0 \end{array} \right.$$

Le calcul de cette variable aléatoire et la statistique S du test en utilisant un logiciel statistique comme XLSTAT, permet de préciser la P-value de la série et par conséquent il permet de vérifier si la tendance monotone observée visuellement dans une série est statistiquement significative ou pas, ainsi que le signe de la valeur S indique la nature de la tendance (augmentation ou diminution) (Lopez et Leynet, 2011 ; Yavuz Selim Guclu, 2018). Finalement, la pente de la tendance et l'intervalle sont calculés en adoptant la méthode de Sen.

La pente  $\alpha$  est calculée comme la médiane de toutes les  $\frac{n(n-1)}{2}$  entre chaque paire de données (X, Y).

$$\alpha = \frac{(Y_j - Y_i)}{(X_j - X_i)} \text{ Pour } i < j \text{ et } i = 1, 2, 3, \dots, (n-1) \text{ et } j = 2, 3, \dots, n$$



# Tests paramétriques et non paramétriques

- Population mère normale
- Population mère quelconque et échantillon de grande taille ( $n \geq 30$ )
- Echantillon aléatoire et simple

*Non*

*Oui*

*Tests non paramétriques*

*Tests paramétriques*

Rupture en moyenne

Rupture en variance

Tendance

Rupture en moyenne

Rupture en variance

Tendance

Test d'homogénéité le Pettitt (1979)

Test Mood

Test Kruskal Wallis

Test Mann-Kendall

Test de comparai- sons de moyenne

ANOVA1

Test Fisher

Test Levene

Régression linéaire

$H_0$  : Absence de rupture

$H_0$  : «  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  »

$H_0$  : «  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_p^2$  »

$H_0$  : Absence de tendance

$H_0$  : «  $m_1 = m_2$  »

$H_0$  : «  $m_1 = m_2 = \dots = m_p$  »

Figure 7 : Schéma récapitulatif des différents tests paramétriques et non paramétriques utilisés

**Quatrième partie :**  
**Résultats & Discussions**  
**« Etude de cas »**

## I - Analyse des résultats : Application du cadre d'analyse de la résilience : Etude de cas

### 1. Rappel de l'étude de cas

Le cadre d'analyse de la résilience, qui constitue la base centrale de cette étude, a été appliqué sur une étude de cas dans la plaine de Sétif en Algérie. Il s'agit en fait d'un système d'exploitation agricole caractérisé par une diversité agricole importante entre production végétale (céréale et maraichage) et production animale (élevage bovin pour la production de lait et élevage ovin) plus une diversité d'enjeux climatiques notamment : les variations en pluviométrie dans un étage climatique inférieur, dont les précipitations varient généralement entre 200 mm à 300 mm (*Tableau 5 - partie : Approche méthodologique*).

### 2. Réponses aux trois questions du cadre d'analyse de la résilience : Etude de cas

En appliquant le cadre d'analyse de la résilience sur notre étude de cas, les réponses aux trois questions fondamentales abordées et analysées dans la présente étude, sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 8).

Tableau 8 : Les trois questions de la résilience analysées dans la présente étude : étude de cas

Questions	Réponses
<b>Résilience de quoi ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Echelle spatiale</u> : 1 Système d'exploitation agricole avec une diversité en production végétale et animale (cultures céréalières, cultures maraîchères, élevage bovin et ovin).</li> <li>▪ Il se situe dans la région de Sétif en Algérie</li> </ul>
<b>Résilience à quoi ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Nature du choc</u> : variabilité annuelle des précipitations</li> <li>▪ <u>Echelle temporelle</u> : 2019-2049 (31 ans)</li> </ul>
<b>Résilience de quelles caractéristiques ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Analyse globale des capitaux de l'exploitation</u> : capital naturel, capital économique et capital humain : plusieurs indicateurs/capital. <ul style="list-style-type: none"> <li>→ KN : Location des terres et quantité d'eau utilisée pour l'irrigation</li> <li>→ KE : Assolement céréales, assolement maraîchages, effectif ovin et bovin, production de lait, marge brute, trésorerie et investissement</li> <li>→ KH : Quantité de travail</li> </ul> </li> <li>▪ <u>Analyse agrégée : Catégorisation du comportement de l'exploitation étudiée – Choix d'1 indicateur (Avec le poids de le plus élevé) /capital</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>→ KN : Location des terres</li> <li>→ KE : Marge brute</li> <li>→ KH : Quantité de travail</li> </ul> </li> <li>▪ <u>Etude de stabilité</u> de chaque indicateur : Détection de tendance, de rupture en moyenne et de rupture en variance.</li> </ul>

## II - Analyse générale des capitaux de l'exploitation : Application du cadre d'analyse

Dans cette partie, les résultats d'analyse de la résilience du système d'exploitation agricole (Céréale-maraichage-élevage) étudié, sont présentés en fonction des trois capitaux : le capital naturel (KN) composé par la terre et les ressources naturelles (l'eau, ...), le capital économique (KE) représenté par les productions végétales et animales ainsi que la rentabilité et la liquidité de l'exploitation et finalement le capital humain (KH) qui représente particulièrement la main d'œuvre et la quantité de travail nécessaire pour le bon fonctionnement de l'exploitation.

### 1. Capital naturel (KN)

L'analyse du capital naturel pour l'exploitation agricole choisie, a été faite en faisant une étude de stabilité des deux indicateurs sélectionnés : la SAU louée et la quantité d'eau d'irrigation utilisée. L'objectif est de tester si la moyenne, la variance et la tendance de ces derniers ont résisté aux différents chocs climatiques du scénario de variation de pluviométrie choisi sur 31 ans (entre 2019 et 2049).

Grâce aux tests paramétriques d'égalité de la moyenne, de variance et la régression linéaire pour la tendance, il s'est avéré que les surfaces louées par l'exploitation diminuent d'une façon linéaire (Annexe 2) sur toute la période d'étude (2019-2049) avec une rupture significative en moyenne, enregistrée à l'année 2033 (Tableau 9). Cette dernière montre que cet indicateur, a été fortement impacté par la forte baisse des précipitations, enregistrée après l'année 2033 (en passant d'une moyenne de 40 mm avant 2033 à 31 mm après l'année 2033) (Figure 8). Cette baisse peut s'expliquer par une liquidité de plus en plus limitée dans un contexte de changement climatique (Camille, 2018). En d'autres termes, une trésorerie limitée, peut provoquer une baisse de la location des terres par l'exploitation, qui est considérée parmi les activités les plus importantes chez les agriculteurs de la zone d'étude.

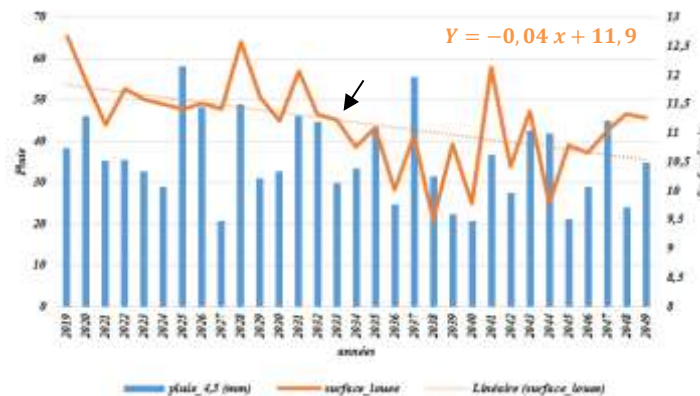


Figure 8 : Evolution de la SAU louée et de pluviométrie entre 2019 et 2049

Tableau 9 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : SAU louée

	Différences appariées	T				Ddl	Sig. (Bilatérale)		
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure			Supérieure	
Paire 1	SAU_louée_Avant 2033 SAU_louée_Après 2033	,96333	,76677	,19798	,53871	1,38796	4,866	14	<b>,000</b>

## Résultats & Discussions « Etude de cas »

De même pour la quantité de l'eau d'irrigation utilisée, une tendance linéaire vers la baisse est constatée tout au long de la période (2019-2049) avec une pente d'environ (-12,5) (Figure 9 & Annexe 3). Le tableau 10 montre l'existence d'une rupture en moyenne des quantités d'eau utilisées pour irriguer les cultures dans l'exploitation (en passant d'une moyenne de 1592,5 avant 2033 à 1393,5 après 2033). En fait, ce système d'exploitation agricole étudié dispose d'un forage, donc la contrainte de disponibilité en eau d'irrigation, n'est pas valable pour ce système. Or la baisse continue de cet indicateur, peut être provoquée par les risques d'épuisement des ressources hydriques souterraines dans la zone d'étude, qui est fortement exposée aux effets du changement climatique (notamment en termes pluviométrie) (Camille, 2018).

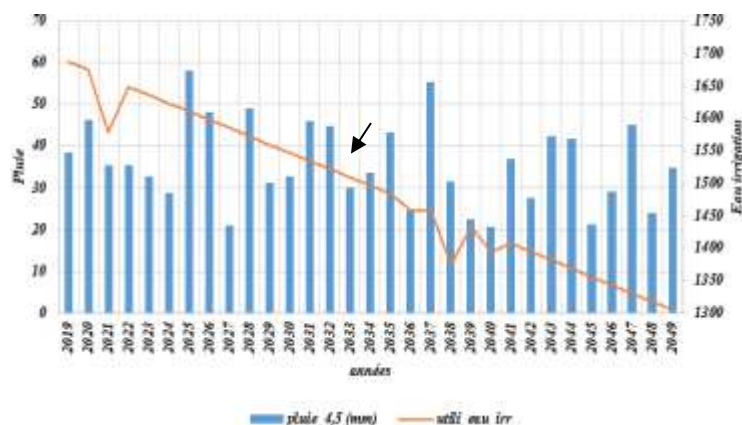


Figure 9 : Evolution de la quantité de l'eau d'irrigation utilisée et des précipitations entre (2019-2049)

Tableau 10 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : Utilisation d'eau d'irrigation

	Différences appariées	Moy	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence		T	Ddl	Sig. (bilatérale)
					Inférieure	Supérieure			
					Paire 1	Qtq d'eau d'irrigation avant_2033 Qtq d'eau d'irrigation après_2033			

## 2. Capital économique

Afin d'étudier le comportement économique du système d'exploitation étudié, face aux variations pluviométriques estimées, il est important d'analyser dans un premier temps les indicateurs techniques, qui sont liés à la production végétale (l'assolement céréale (Blé dur, orge et avoine) et l'assolement maraîchage) et la production animale (effectif bovins et effectif ovins) de l'exploitation. Ainsi que l'analyse des indicateurs financiers tel que la marge brute pour la rentabilité, la trésorerie et l'investissement pour la liquidité de l'exploitation agricole. A noter que, les indicateurs peuvent être corrélés par ex. le rendement végétale/animale est corrélé positivement avec le revenu lorsque les prix des produits sont maintenus constants, donc l'analyse de l'un de ces indicateurs est suffisante (Soussi, 2018).

❖ **Techniquement :**

Pour la production végétale de l'exploitation et d'après les résultats des différents tests paramétriques et non paramétriques utilisés. Les surfaces en céréales simulées sont en moyenne stables à la baisse de la pluviométrie (absence de rupture en moyenne) sur toute la période 2019-2049 (Figure 10 et Tableau 11) tout en enregistrant une différence significative en termes de variabilité avant et après l'année 2033 (Tableau 12), ce changement significatif d'écart type après l'année 2033, montre que l'impact du choc pluviométrique a commencé par une baisse de la résistance de l'exploitation et cela peut s'accroître à long terme en absence des mesures d'adaptation ou du progrès technologique (Grami et Ben Rejeb, 2015).

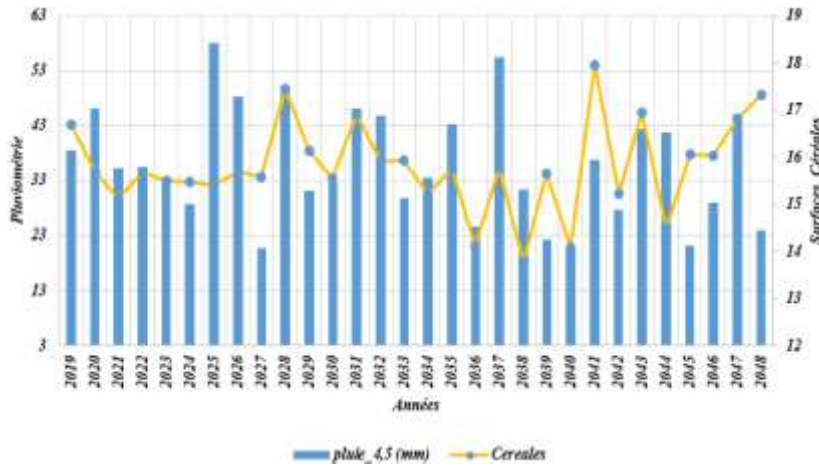


Figure 10 : Evolution des surfaces (ha) en céréales entre 2019 et 2049

Tableau 11 : Test student t de comparaison de moyenne pour l'indicateur : assolement céréales

		Différences appariées				T	ddl	Sig. (bilatérale)	
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure				Supérieure
Paire 1	Céréale_S1 Céréale_S2	,23087	1,16794	,30156	-,41592	,87765	,766	14	<b>.457</b>

Tableau 12 : Test Fisher de comparaison des variances pour l'indicateur : Assolement céréales

	Céréales_ avant 2033	Céréales_ après 2033
Moyenne	15,91	15,78
Variance	<b>0,41</b>	<b>1,59</b>
Observations	15	16
Degré de liberté	14	15
F	0,25	
P(F<=f) unilatéral	<b>0,007</b>	
Valeur critique pour F (unilatéral)	0,4	

## Résultats & Discussions « Etude de cas »

Par contre, l'assolement en culture maraîchères (ha) est très sensible à la baisse des précipitations. D'après la figure 11 et le test Mann-Kendall (Annexe 2), on constate une tendance significative vers la baisse sur toute la période d'étude (2019-2049) avec la mise en évidence de deux ruptures en moyenne à l'année 2027 et 2040 (les deux années qui sont caractérisées par les niveaux les plus faibles en précipitation sur toute la période estimée : 20,8 mm et 20,7 mm respectivement) (Figure 12 et Tableau 13). Plus la détection de trois ruptures en variances en 2027, 2035 et 2040 (Tableau 14) (Annexe 4). En comparaison avec les cultures céréalières, les cultures maraîchères ont une très faible résistance aux fluctuations pluviométriques et une faible stabilité surtout lorsqu'il s'agit d'une année très sèche. Ces résultats sont compatibles avec les caractéristiques et les besoins en eau des cultures maraîchères, tel qu'il est important de satisfaire correctement la demande en eau de ce type de culture selon les espèces et le stade de culture (Herri, 2011). Finalement l'eau reste un facteur limitant pour toutes les cultures que ce soit par excès ou par manque (Herri, 2011).

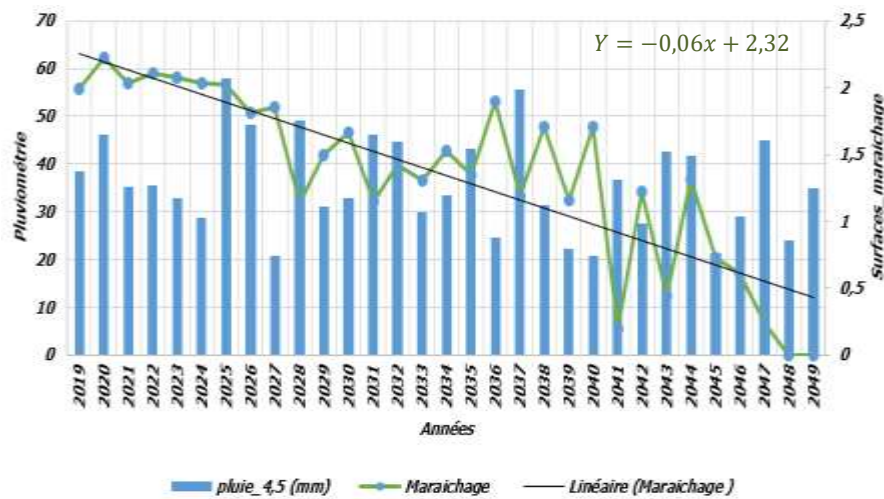


Figure 11 : Evolution des surfaces (ha) en maraîchage entre 2019 et 2049

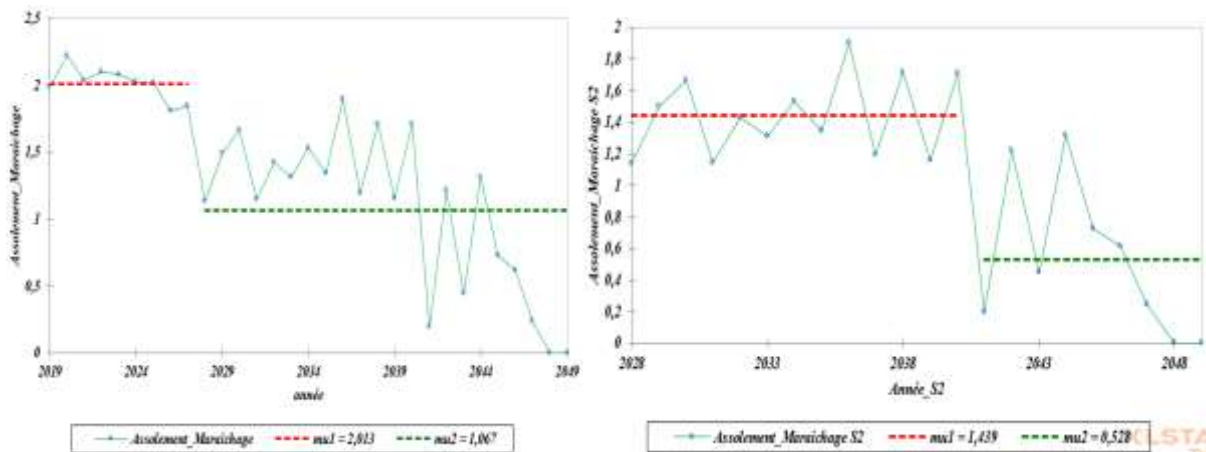


Figure 12 : Ruptures en moyenne détectées dans la série de l'assolement maraîchage : en 2027 et 2040 sur la période (2019-2049)



## Résultats & Discussions « Etude de cas »

**Tableau 13 : Test Pettitt de rupture en moyenne pour la série « Assolement maraîchage » entre 2019-2049 et entre 2028-2049**

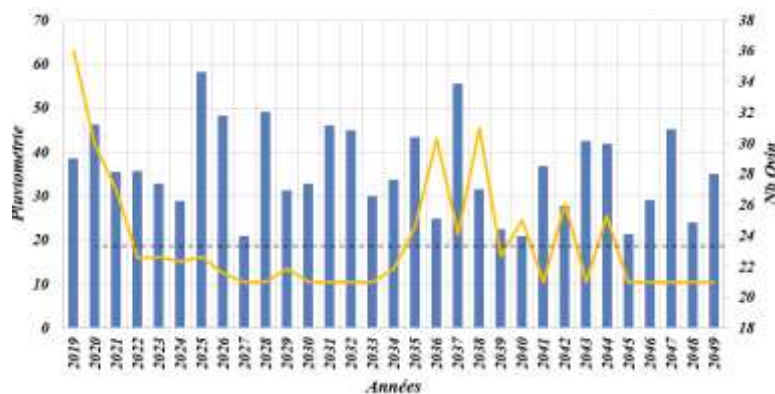
	Test de Pettitt (2019-2049)	Test de Pettitt (2028-2049)
<b>K</b>	194,000	99,000
<b>T</b>	2027	2040
<b>p-value (bilatérale)</b>	<u><b>&lt; 0,0001</b></u>	<u><b>0,005</b></u>
<b>Alpha</b>	0,05	0,05

**Tableau 14 : Test Kruskal-Wallis de comparaison de plusieurs variances entre 2019 et 2049**

**Test de Kruskal-Wallis / Test bilatéral :**

<b>K (Valeur observée)</b>	23,881
<b>K (Valeur critique)</b>	7,815
<b>DDL</b>	3
<b>p-value (unilatérale)</b>	<u><b>&lt; 0,0001</b></u>
<b>Alpha</b>	0,05

Quant à la production animale de l'exploitation étudiée, le test Pettitt (Tableau 15) et le test Student de la stationnarité de la moyenne (Annexe 5), montrent que le nombre d'unités zootechniques ovines (Figure 13) et bovines (Figure14) est en moyenne stable sur les 31 ans simulés.



**Figure 13 : Evolution de l'effectif ovin entre 2019-2049**

**Tableau 15 : Test Pettitt de rupture en moyenne pour la série « effectif ovin » entre 2019 et 2049**

<b>Test de Pettitt</b>	
<b>K</b>	96,000
<b>T</b>	2025
<b>p-value (bilatérale)</b>	<u><b>0,367</b></u>
<b>Alpha</b>	0,05



## Résultats & Discussions « Etude de cas »

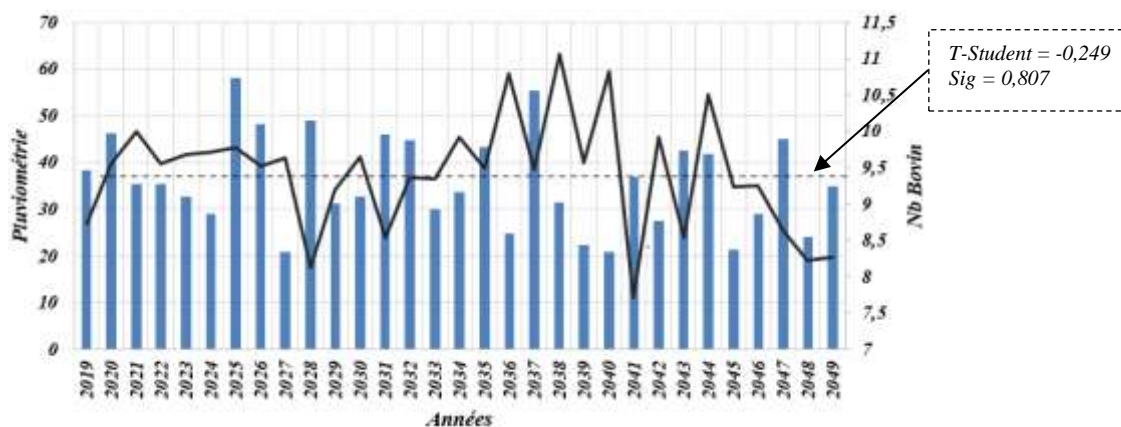


Figure 14 : Evolution de l'effectif bovin entre 2019-2049

En ce qui concerne les ruptures en variance, grâce au test Mood et au test Fisher de comparaison de variance, il s'est avéré que l'écart type d'évolution des ovins de l'exploitation, ne présente aucune différence significative tout au long de la période d'étude (2019-2049) (Tableau 16), tandis que l'évolution estimée des bovins présente une rupture significative en variance à l'année 2033 (Tableau 17).

Tableau 17 : Test de Mood de comparaison de 2 variances entre 2019 et 2049

Test de Mood :	
U	0,039
Valeur critique	3,841
DDL	1,000
P-value	<b>0,843</b>
Alpha	0,05

Tableau 16 : Test Fisher de comparaison de 2 variances entre 2019 et 2049

	Nb-bovin 1	Nb-bovin 2
Moyenne	9,35	9,46
Variance	0,26	1,02
Observations	15	16
Degré de liberté	14	15
F	0,26	
P(F<=f) unilatéral	<b>0,007</b>	
Valeur critique pour F	0,41	

La variation de la taille du cheptel de l'exploitation d'une période à l'autre, peut être considérée dans un certain cas, comme une stratégie de l'agriculteur afin d'assurer un équilibre de son exploitation, c'est-à-dire la vente ou l'achat d'ovins ou de bovins, permettent ajuster le niveau de la liquidité, le niveau de la production ainsi que le revenu global de l'exploitation (Camille, 2018). Par exemple, Pour notre cas à l'année 2033 une forte baisse de pluviométrie a été enregistrée sur la zone d'étude, elle a provoqué une baisse significative en termes de surface en cultures maraichères, c'est pour cette raison l'agriculteur a augmenté le nombre des bovins après cette année pour compenser les pertes liées aux maraichages.

Par conséquent, l'analyse de ces deux indicateurs, montre que la taille du cheptel de ce système d'exploitation est plus résiliente aux variations pluviométriques, Ils ont une capacité d'adaptation importante pour rester en moyenne stable sur une longue durée.

### ❖ Financièrement :

En termes de rentabilité, l'analyse statistique des indicateurs a montré que la marge brute annuelle de l'exploitation, est en moyenne stable sur les 31 ans simulés (marge brute moyenne

## Résultats & Discussions « Etude de cas »

= 4 085 153,32 DZD) (Figure 15/Annexe 6) avec une différence significative de variabilité avant et après l'année 2030 (Tableau 18).

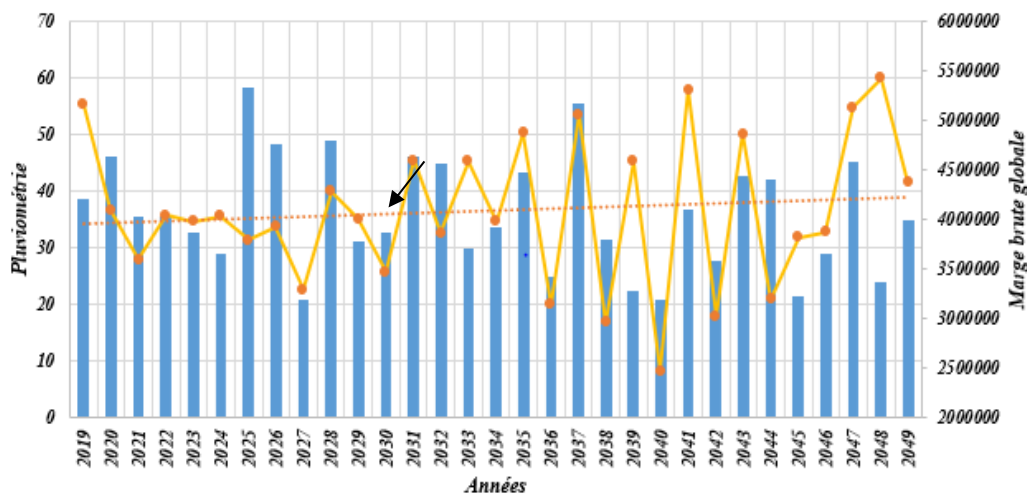


Figure 15 : Evolution de la marge brute globale de l'exploitation sur la période 2019-2049

Tableau 18 : Test Fisher de comparaison de variances : Marge brute (avant et après 2030)

Test Fisher	Marge_brute_S1	Marge_brute_S2
Moyenne	3967973,20	4159161,81
Observations	12	19
Degré de liberté	11	18
F	0,280	
P(F<=f) unilatéral	<b><u>0,018</u></b>	
Valeur critique pour F	0,374	

Malgré la baisse significative enregistrée pour l'assolement en culture maraîchères (parmi les cultures les plus rentables de l'exploitation), sous l'effet des variations pluviométriques, la marge brute annuelle moyenne est restée stable sur toute la période d'étude (2019-2049). Cette stabilité peut être expliquée par la diversité qui caractérise ce système d'exploitation. Telle que, les pertes économiques liées aux cultures végétales sont compensées par les gains de la production animale, surtout les gains dégagés par l'atelier bovin (Figure 16).

## Résultats & Discussions « Etude de cas »

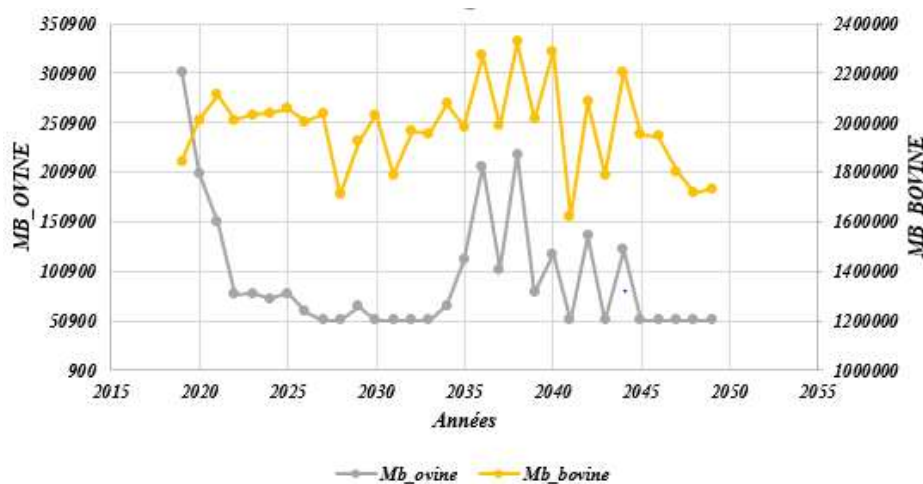


Figure 16 : Evolution de la marge brute ovine et bovine sur la période 2019-2049

En termes de liquidité, le test Pettitt de stationnarité de la moyenne (Tableau 19) montre que la trésorerie ou la capacité d'investissement de l'exploitation, est stable autour d'une moyenne de 3484360.01 DZD sur toute la période simulée 2019-2049. La figure 17 montre que cette dernière, a été complètement mobilisable pour investir dans l'exploitation notamment entre 2021 et 2031, 2035-2041 et entre 2043 et 2046.

A noter que la stabilité moyenne du niveau global de la liquidité de l'exploitation étudiée, peut être assurée en adoptant différentes stratégies, notamment : l'achat/la vente ou la location des terrains agricoles, l'achat ou la vente des ovins ou des bovins et etc.

Tableau 19 : Test Pettitt pour la série « Trésorerie » entre 2019 et 2049

Test de Pettitt (Trésorerie) :	
K	72,000
T	2025
p-value (bilatérale)	<u>0,948</u>
Alpha	0,05

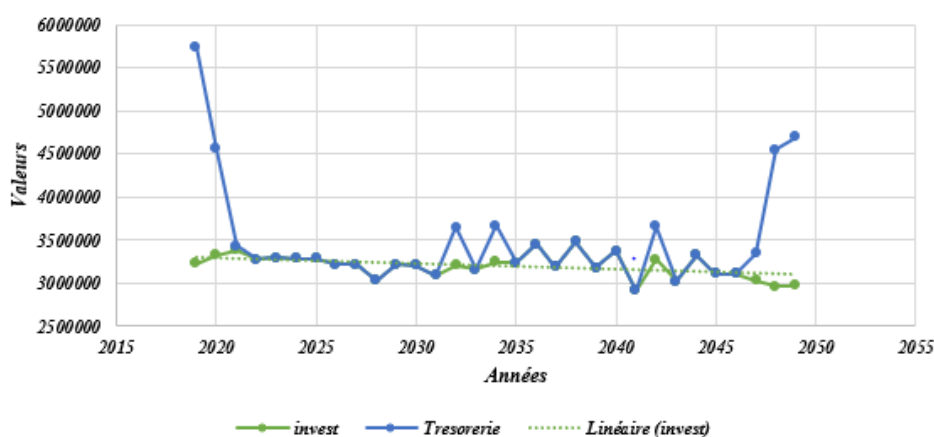


Figure 17 : Evolution de l'investissement et la trésorerie entre 2019 et 2049

### 3. Capital humain

Pour analyser la performance sociale du système agricole ciblé, une étude de stabilité a été réalisée pour l'indicateur « temps de travail (h) » de la main d'œuvre, nécessaire pour les différentes opérations agricoles de l'exploitation. Les résultats ci-dessous, montrent les différents tests non paramétriques utilisés pour comprendre la tendance d'évolution de la série, la stationnarité de la moyenne et la variation des écart types de l'indicateur sur toute la période 2019-2049.

D'après le test Mann-Kendall (Tableau 20), on remarque que le temps de travail annuel se caractérise par une tendance vers la baisse sur les 31 ans d'étude avec une rupture significative en moyenne, détectée par le test Pettitt (Tableau 21) à l'année 2038 (en passant d'une moyenne de 4732 h avant 2038 à 4072 h après 2038) (Figure 18).

Tableau 20 : Test Mann-Kendall : temps de travail (h) entre 2019 et 2049

Test de tendance de Mann-Kendall / Test bilatéral (travail (h)) :	
Tau de Kendall	-0,419
:S	-195,000
Var(S)	3461,667
p-value (bilatérale)	<b>0,001</b>
Alpha	0,05

Tableau 21 : Test Pettitt : temps de travail (h) entre 2019 et 2049

Test de Pettitt (travail (h)) :	
K	146,000
T	<b>2038</b>
p-value (bilatérale)	<b>0,025</b>
Alpha	0,05

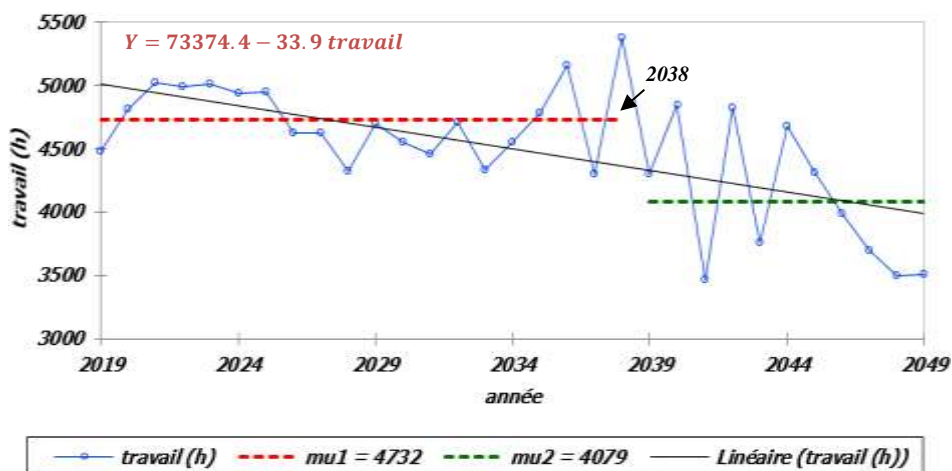


Figure 18 : Rupture en moyenne (2038) et tendance à la baisse pour la série travail (h) entre 2019-2049

En ce qui concerne les ruptures en variance, le test Mood (Tableau 22) montre qu'il n'y a pas une différence significative en termes de variance sur toute la période d'étude.

Tableau 22 : Test Mood : temps de travail (h) entre 2019 et 2049

Test de Mood :	
U	0,798
Valeur critique	3,841
DDL	1,000
P-value	<b>0,372</b>
Alpha	0,05

Finalement, la diminution de la quantité de travail nécessaire pour les systèmes de production de l'exploitation, peut être expliquée par la baisse significative de la surface agricole utile (SAU) des cultures maraîchères, qui sont classées parmi les cultures qui demandent une quantité importante de travail de la main d'œuvre permanente, saisonnière et familiale durant la période de la production, de la récolte et de l'entretien (Figure 19).

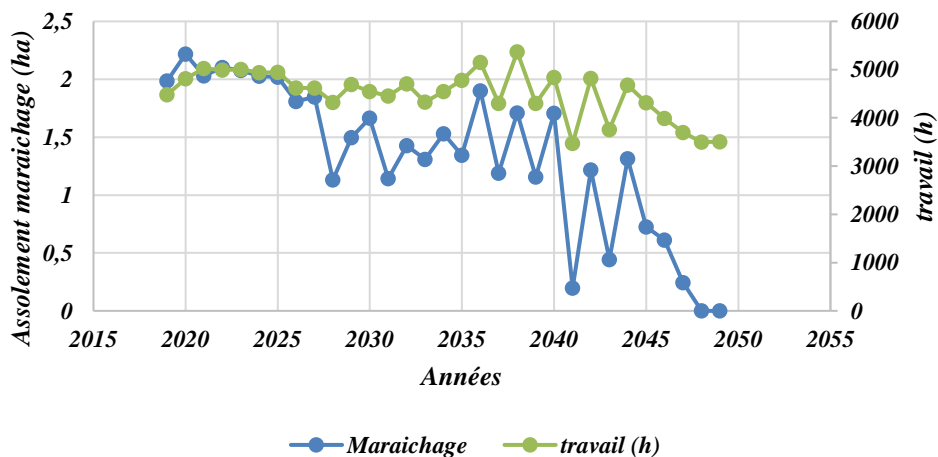


Figure 19 : Evolution des surfaces en maraîchage et le temps de travail (h)

### III - Analyse agrégée de la résilience : Catégorisation du comportement de l'exploitation étudiée

Après l'analyse globale des principaux indicateurs du système d'exploitation étudié. Dans cette partie, nous avons sélectionné trois indicateurs pour les trois capitaux. Ce choix a été fait en se basant sur les indicateurs qui présentent le poids le plus important pour ce type d'exploitation, qui se situe dans une zone aride avec des variations climatiques importantes sur la période 2019-2020.

Pour le capital naturel, le choix de la location des terres (ha) est justifié par le recours important des agriculteurs de la Wilaya de Sétif à cette pratique afin d'assurer un revenu équilibré suite aux différents chocs climatiques et économiques inattendus. Pour le capital économique, la marge brute (DZD) est parmi les indicateurs les plus importants pour tous les agriculteurs qui investissent leurs moyens et leurs efforts dans les différentes activités agricoles. Finalement la

## Résultats & Discussions « Etude de cas »

quantité de travail (h) de la main d'œuvre est parmi les indicateurs les plus importants à analyser pour le capital humain des exploitations agricoles, elle varie en fonction de plusieurs facteurs notamment : le type de système de culture, la disponibilité et le coût dans la région.

Le tableau 23 présente les trois critères d'étude de la stabilité des indicateurs sélectionnés pour le système d'exploitation étudié : la rupture en moyenne, la rupture en variance et la détection de la tendance. Pour chaque critère des trois indicateurs, les années de ruptures, la pente de la tendance, les valeurs et les variations de la moyenne et des écarts types sont présentées.

En se basant sur le cadre d'analyse de la résilience proposé dans cette étude, la présence d'une rupture en moyenne désigne une instabilité de l'exploitation pour cet indicateur, la présence d'une rupture significative en variance veut dire que l'exploitation se caractérise par une faible résistance face au choc étudié et la tendance désigne le sens d'évolution de l'indicateur soit vers une hausse ou vers une baisse.

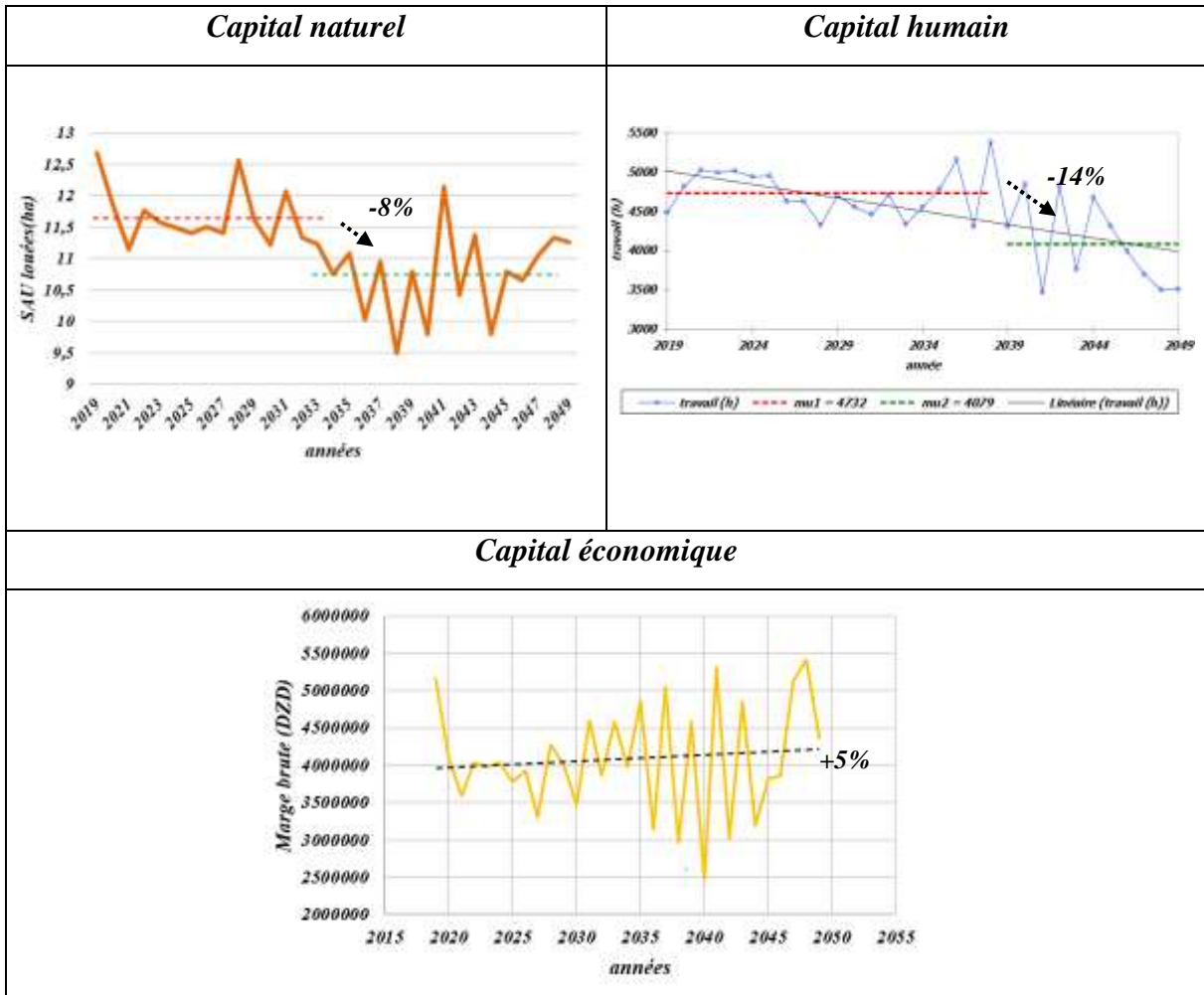
**Tableau 23 : Valeurs et variations des indicateurs des trois capitaux avant et après les années de choc : étude de stabilité (Rupture en moyenne, Tendance et rupture en variance)**

	Indicateurs	Stabilité						
		Rupture en moyenne			Rupture en variance			Tendance
		Val ( $m_1$ )	Année de choc	Val ( $m_2$ )	Val ( <i>écart type</i> <sub>1</sub> )	Année de choc	Val ( <i>écart type</i> <sub>2</sub> )	<u>Pente</u>
KN	Location des terres (ha)	11,7	2033	10,7	Non sig			-0,04
		-8%						
KE	Marge brute (DZD)	3967973,2	2030	4159161,8	468060,4	2030	883959,3	Non sig
		Différence non sig +5%			+89%			
KH	Quantité de travail (h)	4732	2038	4079	Non sig			-33,9
		-14%						

\* Val = valeur ; m = moyenne ; Non sig = non significatifs statistiquement

L'analyse de la stabilité de l'indicateur « location des terres » pour le capital naturel, montre une tendance vers la baisse avec une rupture significative en moyenne à l'année 2033 en passant de 11,7 ha à 10,7 ha de SAU louées soit une baisse de 8%. Le même constat pour la quantité de travail de la main d'œuvre de l'exploitation, elle est caractérisée par une tendance négative sur toute la période 2019-2049 plus un saut de moyenne à l'année 2038 en passant de 4732 h à 4079 h de travail soit une variation de -14%. Par contre, la marge brute du capital économique est statistiquement stable sur les 31 ans simulés avec une légère augmentation de +5% après l'année 2030 plus une rupture significative en variance enregistrée à l'année 2030 (Tableau 23). Le tableau 24 présente les résultats de stabilités des indicateurs es trois capitaux de l'exploitation sous forme graphiques.

Tableau 24 : Etude de stabilité des indicateurs des trois capitaux : KN, KE et KH



En se basant sur la représentation conceptuelle (Figure 18) du cadre d’analyse de la résilience, nous pouvons a priori classer l’exploitation étudiée comme étant un système agricole résilient évolutifs (C) capable de faire face aux variations pluviométriques et d’évoluer légèrement sa rentabilité malgré la baisse significative du capital naturel et du capital humain. En fait, tous les indicateurs calculés varient respectivement +5%, -8% et -14% pour la marge brute agricole, les SAU louées et la quantité de travail (Tableau 24).

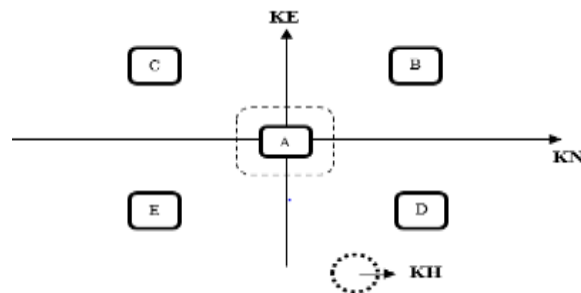


Figure 20 : Représentation conceptuelle du cadre d’évaluation de la résilience agricole (Soussi et al. 2018)



Le maintien de la marge brute annuelle stable sur la période 2019-2020 avec une légère augmentation de 5%, peut être le résultat de deux voies d'adaptation : 1) - Augmenter les surfaces allouées aux cultures rentables notamment les cultures maraîchères en utilisant le forage pour une irrigation efficace et réduire les SAU en céréales pluviales qui sont souvent vulnérables aux changements climatiques ou 2) – Acheter ou vendre des bovins ou des ovins pour compenser les pertes économiques et garantir un revenu minimum.

### IV - Discussions des limites de l'étude

#### 1. Retour sur le cadre d'analyse de la résilience

Le cadre d'analyse proposé dans la présente étude, est une approche globale qui vise à analyser quantitativement la résilience des exploitations agricoles face aux différentes perturbations économiques, climatiques et etc. Il repose sur trois questions fondamentales : la résilience de quoi ? pour identifier l'échelle spatiale (l'agrosystème) d'évaluation de la résilience et toutes les interactions à prendre en considération, la résilience à quoi ? pour cibler le choc à étudier et la résilience de quelles caractéristiques ? pour choisir d'abord les indicateurs pertinents à analyser selon le type d'exploitation ensuite analyser la stabilité ou la performance agricole du système choisi face au choc et finalement catégoriser le comportement de ce dernier sur un schéma conceptuel constitué par cinq classes ( système réellement résilient, système meilleur que résilient, système résilient évolutif, système peu résilient et système non résilient).

Dans la littérature, les approches quantitatives de la résilience sont rares, c'est pour cela son évaluation est considérée difficile (Dauphiné et Provitolo, 2007). Le cadre d'analyse que nous avons proposé, est parmi les approches les plus intéressantes, il repose sur la simplification de l'analyse du système agricole en étudiant sa stabilité et sa résistance face à différents types de chocs. Certes, il se caractérise par certaines limites qui devraient faire l'objet de plusieurs recommandations. Dans cette approche, l'analyse s'est focalisée sur deux dimensions principales de la résilience : la stabilité et la résistance, or dans plusieurs définitions dans la littérature, on trouve que la vitesse de récupération du système est également parmi les critères qu'il ne faut pas ignorer dans ce type d'analyse (Holling et Guderson, 2002). Sans oublier le problème lié au seuil de variations des indicateurs pour une meilleure catégorisation du comportement des exploitations étudiées.

#### 2. Retour sur la méthode d'étude de la stabilité

L'étude de stabilité des indicateurs sélectionnés pour analyser la résilience du système d'exploitation agricole, a été basée sur trois points importants : la tendance, la rupture en moyenne et la rupture en variance. Plusieurs tests paramétriques et non paramétriques ont été utilisés pour détecter ces derniers dans toutes les séries de données des indicateurs simulés. Chaque catégorie de ces tests, est caractérisée par des avantages et des inconvénients (limites) présentés dans le tableau ci-dessous.



## Résultats & Discussions « Etude de cas »

**Tableau 25 : Avantages et les limites des tests paramétriques et non paramétriques utilisés pour étudier la stabilité des indicateurs de la résilience agricole**

	Tests paramétriques	Tests non paramétriques
<b>Avantages (+)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Plus puissants</li> <li>✓ Distribution caractérisée par des paramètres estimés (moyenne, variance, intervalle de confiance et etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conditions d'application contraignants</li> <li>✓ Identification visuelle des ruptures en moyenne et en variance à tester</li> </ul>
<b>Inconvénients (-)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Plus robustes (c'est-à-dire le champ d'application est plus large)</li> <li>✓ Peuvent être appliqués sur des échantillons de petites taille (<math>n \leq 30</math>)</li> <li>✓ Adaptés aux variables quantitatives et qualitatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Souvent moins documentés</li> <li>✓ Lorsque les conditions sont vérifiées, ces tests non paramétriques sont moins puissants</li> <li>✓ La détermination des rangs cause parfois une perte de temps et d'information</li> <li>✓ Les années de ruptures sont déterminées par le test</li> </ul>
<b>Sources</b>	(Genin, 2015) (Preux et al. 2003) (Raison, 1959)	

### 3. Retour sur l'étude de cas

L'approche quantitative d'évaluation de la résilience proposée dans la présente étude, a été appliquée sur une étude de cas d'un système d'exploitation agricole dans une zone aride, exposée aux effets du changement climatique notamment les variations en pluviométrie. Ce système se situe dans la plaine de Sétif en Algérie, il se caractérise par une diversité agricole importante entre production animale (élevage ovin et bovin) et production végétale (cultures céréalières et cultures maraîchères).

Les résultats de cette étude, ont montré que la marge brute totale est en moyenne stable sur les 31 ans malgré la baisse significative des indicateurs sélectionnés pour le capital naturel et le capital humain.

Cette stabilité enregistrée par le capital économique est très intéressante, elle pourra être le résultat de la diversification des productions de ce système d'exploitation, telles que différentes stratégies peuvent être adoptées par les exploitants de ce système agricole notamment : la vente ou l'achat ou encore la location des terres agricoles, l'augmentation des surfaces en maraîchages (les cultures les plus rentables) en profitant de la source d'irrigation disponible ( forage) ainsi que l'achat ou la vente des bovins et/ou des ovins pour compenser les pertes de revenu liées aux céréales par exemple.

Malgré la stabilité en moyenne de ce capital, il ne faut pas ignorer la grande variabilité remarquée tout au long de la période d'étude. Le changement significatif de la variance de cet indicateur est parmi les signes d'insécurité des agriculteurs. Elle pourra être considérée comme

une alerte pour l'exploitant pour réajuster les stratégies de production de façon à assurer un équilibre de stabilité en moyenne et en variance.

Enfin, il sera plus intéressant d'appliquer cette approche d'évaluation sur d'autres types d'exploitations agricoles avec différents systèmes et stratégies de production, pour montrer d'une part son efficacité, son utilité et sa fiabilité à l'échelle des agrosystèmes et d'autre part, pour faire des comparaisons à grande échelle.

# Conclusion & Recommandations

La présente étude a pour objectif d'élaborer une approche quantitative (ou un cadre d'analyse) d'évaluation de la résilience à l'échelle de l'exploitation agricole. Plus la réalisation d'une première application de cette approche sur une étude de cas ; un système d'exploitation agricole, qui se situe dans la plaine de Sétif en Algérie, il s'agit en fait d'un exemple d'exploitation agricole, qui est fortement exposé à différents chocs climatiques notamment les fluctuations en pluviométrie (zone semi-aride) et qui se caractérise par une diversité importante en production animale et végétale.

Afin de répondre à cet objectif, nous nous sommes basés sur trois questions fondamentales de la résilience : la résilience de quoi ? pour identifier l'échelle spatiale de l'évaluation, la résilience à quoi ? pour cibler le choc et l'horizon de temps à prendre en considération et la résilience de quelles caractéristiques ? afin d'étudier la performance agricole de l'exploitation en se basant sur une analyse de stabilité des indicateurs pertinents à sélectionner selon chaque contexte et chaque type d'exploitation.

L'étude de stabilité des indicateurs simulés grâce à une série de modélisation bioéconomique, a été faite en se basant sur plusieurs tests statistiques ; des tests paramétriques qui sont appliquées lorsque les conditions de normalité de la série de données sont vérifiées, comme le test student de comparaison de la moyenne, le test Fisher de comparaison de la variance, la régression linéaire pour la tendance et etc plus des tests non paramétriques comme le test Pettitt, le test Mood, le test Mann-Kendal et etc.

Cette étude de stabilité permet de catégoriser le comportement des exploitations étudiées en cinq classes selon la signification de variation des capitaux : système réellement résilient, système meilleur que résilient, système résilient évolutif, système peu résilient ou système non résilient.

Une fois les étapes du cadre d'analyse de la résilience ont été finalisées, un système d'exploitation agricole dans la plaine de Sétif a été choisi pour une première application. Deux niveaux d'analyse ont été suivis : 1) une analyse globale des capitaux de l'exploitation en étudiant la stabilité de plusieurs indicateurs par capital pour mieux comprendre le fonctionnement de l'exploitation entière et 2) une analyse agrégée en choisissant un seul indicateur par capital pour pouvoir au final classer le système dans l'une des catégories du schéma conceptuel de l'approche proposée.

Les résultats d'étude de la stabilité des indicateurs qui présentent le poids le plus important pour les trois capitaux, montrent que la marge brute annuelle du capital économique de l'exploitation est en moyenne stable sur toute la période de l'étude 2019-2049 malgré la baisse significative de SAU louées pour le capital naturel et la quantité de travail pour le capital humain. C'est pour cette raison nous avons classés ce système dans la catégorie des exploitations agricoles résilientes évolutives.

Sur la base de ce cadre d'analyse et des résultats obtenus pour son première application, les recommandations suivants peuvent être intéressantes pour les prochaines réflexions :

## Conclusions & Recommandations

---

- Cette approche mérite d'être appliquée sur un champ large d'exploitations agricoles pour mieux valoriser son utilité dans l'évaluation de la résilience agricole ;
- Cette approche peut être utilisée pour analyser l'impact de différentes stratégies et leviers sur la stabilité et l'amélioration de la résilience de l'exploitation ;
- Approfondir les dimensions d'analyse de l'approche en ajoutant à l'étude de la stabilité et de la résistance, ce qu'on appelle la récupération du système ;
- Pour une meilleure catégorisation des exploitations agricoles dans le schéma du cadre d'analyse, il sera intéressant d'estimer le seuil maximal de variation des capitaux.

### Références bibliographiques :

- Amigues J-P., Debaeke P., Itier B, Lemaire G., Seguin B., Tardieu F et Thomas A. (2006). Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p.
- Aspar J. (2019). Pratiques et systèmes agricoles résilients en condition de sécheresse. Quels leviers agro écologiques pour les agriculteurs du bassin Seine-Normandie ? AgroParisTech, Eau Seine Normandie. 66p.
- Bar M., Penot E et Hélène H. (2011). *Indicateurs de vulnérabilité, résilience durabilité et viabilité des systèmes d'activité au Lac Alaotra, Madagascar Définition des concepts*. Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants au lac Alaotra. Agence Française de développement. 45 p.
- Benniou R., Brinis L., (2006). Diversité des exploitations agricoles en région semi-aride Algérienne. Sécheresse, vol.17, n. 3, p. 399-406
- Berranen H. (2009). Formation agricole, production d'effectifs et prise en charge des besoins réels. 11èmes journées d'études Ingénierie des Dispositifs de Formation à l'International (IDFI). 7 p. Disponible sur : <https://www.agropolis.fr/formation/pdf/2009-05-IDFI-H-Berranen.pdf> (Consulté le 16/01/2020).
- Billa P., Chatain C., Dersigny C., Dumoulin F., Le Mouel L., Salitot G et Schmitt B. (2010). Le Semis direct, une technique cultivée dans l'Oise. Disponible sur : <https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/semis-direct-oise.pdf> ( Consulté le 12/03/2020).
- Bonte J-B. (2010). *La rotation des cultures dans les systèmes céréaliers biologiques : peut-on combiner performances économiques, agronomiques et environnementales ?* Mémoire de Fin d'Etudes du groupe ISA. ARVALIS Institut du végétal. 67 p. Disponible sur : <http://www.itab.asso.fr/downloads/rotab/rotab-memoir-oct-2010.pdf> (consulté le 15/01/2020).
- Boto I., Pandya-Lorch R., Biasca R., Brascosco F et Cruz D. (2013). La résilience agricole face aux crises et aux chocs. 63 p. Disponible sur : [https://briefingsbruxelles.files.wordpress.com/2013/03/final-cta-reader-30\\_agricultural-resilience-fre-rev1.pdf](https://briefingsbruxelles.files.wordpress.com/2013/03/final-cta-reader-30_agricultural-resilience-fre-rev1.pdf) (consulté le 11/03/2020).
- Bourbonnais R. économétrie. Manuel et exercices corrigés. 8 éditions.
- Bremond P. (2011). *Caractérisation et évaluation économique de la vulnérabilité des exploitations agricoles aux inondations*. Economies et finances. Université Montpellier I, 2011. Français. 428 p.
- Cabell J et Oelofse M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, vol.17n. 1.
- Cameron E. (2014). *Changement climatique : Répercussions sur le secteur agricole*. Principales conclusions du Cinquième Rapport d'Évaluation (AR5) du Groupe d'experts

## Références bibliographiques

---

- intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le Climat est l'affaire de tous. 16 p. Disponible sur : <https://www.cisl.cam.ac.uk/business-action/low-carbon-transformation/ipcc-climate-science-business-briefings/translations/pdfs/french-new/agriculture-briefing-web-fr.pdf> ( Consulté le 23/03/2020) ;
- Camille L. (2018). *Utilisation d'un modèle bioéconomique comme outil d'aide à la réflexion pour la conception de systèmes de production plus efficaces et plus résilients dans la wilaya de Sétif – Algérie*. CIHEAM-IAMM, ISTOM, PAUL VALERY et ENSA. 107 p.
  - Carpenter S. R., Walker B., Anderies M.J., Abel N. (2001). From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems*, vol. 4, n. 8, p. 765-781. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-0010045-9>
  - Chenoune R., Allen T., Komarek A-M., Paloma S-G., Flichman G., Capillon A et Belhouche H. (2017). Assessing consumption-production-resources nexus decisions for rice-focused agricultural households in Sierra Leone. *ScienceDirect*. 11 p. Disponible sur : <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0264837716310596?token=A294B0735FAE6406ED183BE5EA44F8373EA73261B25EA7F6603F4F3FC4F23F3E0DC2045673DCC2A4F7EAE9B1C4AF29A3> ( Consulté le 20/01/2020).
  - Claude Huchon J., Brossillon V., Battais F., Morin C., Servans C., Gaboriau L., Pierre P. (2018). Indicateurs économiques et techniques de m'exploitation laitière, édité par l'Institut d'Elevage.
  - Climate-data (2019). Climat : Sétif. [Consulté en mars 2020]. <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/setif/setif-3595/#climate-graph>
  - Conway G. (1987). The properties of agrosystems. *Agricultural systems*, 24(2): 95-117.
  - Dauphiné A et Provitolo D. (2007). La résilience : un concept pour la gestion des risques. *Cairn. Info*. 13 p. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2007-2-page-115.htm> (consulté le 27 novembre 2019).
  - Dauphiné A et Provitolo D. (2007). La résilience : un concept pour la gestion des risques. *Cairn. Info*. 13 p. Disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2007-2-page-115.htm> (consulté le 27 novembre 2019).
  - Dion K., Slivitzky M., Saïd M et Favre A-C. (2009). Analyses des ruptures et des tendances dans les écoulements annuels observés et simulés par le MRCC en climat actuel (1961-1999) pour les 21 bassins versants de la péninsule Québec/Labrador. Rapport de recherche No R1069. Projet RDC-Incertitude. 58 p.
  - Douillet M et Girard P. (2013). Productivité agricole : des motifs d'inquiétude ? Note N° 7. Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde (FARM). 12 p.
  - El Amrani M., Bentassil A., Houry H., Abbad Z et Lamine Ley M. (2018). Les pratiques adaptatives des petites exploitations familiales face aux changements globaux dans des agrosystèmes en pluvial : cas du bassin versant du Tleta dans le Nord du Maroc. *Alternatives Rurales*

## Références bibliographiques

---

- European Commission. 2012. EU puts resilience at the heart of its work on fighting hunger and poverty. Press release, 3 October 2012. Brussels. Disponible au [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-12-1052\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-1052_en.htm).
- FNCIVAM. (2008). Indicateurs de résultats en agriculture durable. Formation « Mesures et indicateurs en agriculture durable » - 5 mars et 19 mai 2008. <http://www.civam.org/>
- Fourrie L., Experton C., Letailleur F., Cresson C., Ben Younes A., Mundler P., Pautrat E., Dumontier A et Boudeau-Blanchard C. (2013). présentation des indicateurs. Référentiel AB. 172 p. Disponible sur : <http://www.itab.asso.fr/downloads/refab/refab-indicateurs.pdf> (Consulté : le 13/03/2020).
- Galland T. (2016). *Etude des déterminants de la résilience et de la multifonctionnalité des petites exploitations agricoles en zone périurbaine : le cas de la métropole de Montpellier*. Mémoire (Master 2 GAT) : CIHEAM-IAMM, Montpellier (France). 141 p. Mémoire Master 2. Gestion des territoires et développement local. Parcours : Gestion Agricole et Territoires [GAT]. Co-accréditation Université Paul Valéry de Montpellier, CIHEAM-IAMM
- Genin M. (2015). Tests non paramétriques. Université de Lille 2. 99p. Disponible sur : [http://cerim.univlille2.fr/fileadmin/user\\_upload/statistiques/michael\\_genin/Cours/Tests\\_statistiques/Tests\\_non-parametriques.pdf](http://cerim.univlille2.fr/fileadmin/user_upload/statistiques/michael_genin/Cours/Tests_statistiques/Tests_non-parametriques.pdf) (consulté le 17/05/2020).
- Giraud-Héraud. (2016). La résilience des exploitations agricoles. Recherche indépendante. Editée par l'association IDC. 110 p.
- Grami D et Ben Rejeb J. (2015). L'impact des changements climatiques sur le rendement de la céréaliculture dans la Région du Nord-Ouest de la Tunisie (Béja). *ResearchGate*. 7p.
- Herri E. (2011). La conduite de l'irrigation en maraîchage bio. Synthèse technique réalisée par l'association BLE – CIVAM Pays Basque, en collaboration avec Jean-François Bouchy, maraîcher formateur, et le groupe pilote maraîchage bio de BLE. Disponible : <https://www.latelierpaysan.org/IMG/pdf/76819159.pdf> (Consulté le 5/5/2020).
- Hollander, M. et D.A. Wolfe (1973). *Non-parametric statistical methods*. John Wiley, New-York, 503 pp.
- Holling C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, vol. 4, p. 1-23.
- Holling, C.S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. *Engineering within ecological constraints*, p. 31-32.
- Lachibi M., Chehat F et Belhouadjeb F-A. (2019). Les facteurs influençant le rendement oléicole : cas de la région de Jijel du Nord-Est algérien. *OCL journal*. 6 p. <https://www.ocl-journal.org/articles/ocl/abs/2019/01/ocl180031/ocl180031.html> (consulté le 15/01/2020).
- Lallau B et THIBAUT E. (2009). La résilience en débat : quel devenir pour les agriculteurs en difficulté ? *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, 24 p. Disponible sur : <https://core.ac.uk/download/pdf/6467203.pdf> (Consulté le 5/04/2020).



## Références bibliographiques

---

- Lallau B. (2011). La résilience, moyen et fin d'un développement durable. *Ethique et économique*. UMR Clersé-CNRS, Lille. 18 p. Disponible sur : <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/4589/Lallau.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consulté le 27 novembre 2011).
- Lefeuvre T. (2018). *Etude de la contribution de la diversité des cultures et des activités agricoles à la résilience*. Cirad – UMR System, INRA – UMR Innovation. Mémoire de fin d'étude à Sup-Agro Montpellier.
- Lopez B et Leynet A. (2011). *Evaluation des tendances d'évolution des concentrations en polluants dans les eaux souterraines*. Revue des méthodes statistiques existantes et recommandations pour la mise en œuvre de la DCE. Rapport final. Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2010. ONEMA. Disponible sur : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59515-FR.pdf> (consulté le 20/02/2020).
- Mghirbi O. (2016). *Résilience des exploitations agricoles face au changement des pratiques phytosanitaires: conception d'outils de gestion des risques liés aux pesticides - cas du bassin versant de l'étang de l'Or en France*. Thèse (Dr. d'Université en Géographie et Aménagement de l'Espace) : Université Paul-Valéry Montpellier 3, (France). 352 p. École doctorale ED 60 TTSD. UMR GRED. Lames du CIHEAM-IAMM <http://www.theses.fr/2016MON30011>
- Mottram A. Carlberg E. Love A. Cole T. Brush W et Lancaster B. (2017). Modélisation pour la résilience des systèmes des petits exploitants agricoles. Une approche pratique pour renforcer la résilience des agriculteurs face aux chocs et aux stress. Washington, DC : Le Programme TOPS ; Mercy Corps. 126 p.
- Pachauri RK., Allen MR., Barros V., Broome J., Cramer W., Christ R., Church J., Clarke L., Dahe Q et Dasgupta P. (2014). Climate change 2014 : synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC
- Parsonson-Ensor C, Saunders C (2011). Exploratory research into the resilience of farming systems during periods of hardship. In: New Zealand Agricultural and Resource Economics Society conference August, New Zealand. 30 p. disponible sur : <https://core.ac.uk/download/pdf/6699017.pdf> (consulté le 18/11/2019).
- Paturel J-E., Servit E et Delattre M-O., Lubes H et Fritsch J-M. (1997). Etude de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'ouest et centrale non sahélienne. RSTOM, Programme FRIEND AOC. 7 p. Disponible sur : [http://hydrologie.org/redbooks/a246/iahs\\_246\\_0249.pdf](http://hydrologie.org/redbooks/a246/iahs_246_0249.pdf) (consulté le 23/01/2020).
- Penot E et Hélène H. (2011). *Indicateurs de vulnérabilité, résilience durabilité et viabilité des systèmes d'activité au Lac Alaotra, Madagascar Définition des concepts*. Projet de mise en valeur et de protection des bassins versants au lac Alaotra. Agence Française de développement. 45 p.
- Peterson C., Eviner V., Gaudin A. (2018). Ways forward for resilience research in agrosystems. *Agriculture Systems*. ScienceDirect. Published by Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.011>
- Pilon P., Wiebe K., Hale B., Faucher D., Ouarda T et Bobée B. (1997). Revue bibliographique des tests de stationnarité. Environnement Canada. Chaire en hydrologie



## Références bibliographiques

---

- statistique. Institut Nationale de Recherche Scientifique, INRS-Eau 2800, Rapport de recherche N° R-499. Disponible sur : <http://espace.inrs.ca/878/1/R000499.pdf> ( consulté le 27/01/2020).
- Pouffary S., Laboulaye G., Antonini A., Quefelec S et Dittrick L. (2018). Les défis du changements climatique en Méditerranée. Les guides pour agir. Energies 2050. Institut de la Méditerranée. Femise. Edition 2018. 200 p. Disponible sur : [http://www.femise.org/wp-content/uploads/2018/05/2018-05-11\\_Rapport-MED\\_2018\\_v4\\_web\\_onlineCompMED.pdf](http://www.femise.org/wp-content/uploads/2018/05/2018-05-11_Rapport-MED_2018_v4_web_onlineCompMED.pdf) ( Consulté le 07/04/2020).
  - Preux P.M ; Druet-Cabanac M ; Dalmay F et Vergnenègre A. (2003). Qu'est-ce qu'un test paramétrique ? *Mémentos biostatistique*. 3p.
  - Programme alimentaire mondial WFP. (2014). *Un cadre d'analyse commun de mesure de la résilience*. Cadre de causalité et opinions méthodologique. FAO, l'IFP, USAID, Union Européen. Série technique N° 02. 52 p.
  - Quenault B. (2013). Retour critique sur la mobilisation du concept de résilience en lien avec l'adaptation des systèmes urbains au changement climatique. *EchoGéo*. 23p. mis en ligne le 10 juillet 2013, consulté le 26 novembre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/13403> ; DOI : 10.4000/echogeo.13403.
  - Raison J. (1959). Les principaux tests non paramétriques. Quelques généralités et références bibliographiques. *Revue de statistique appliquée*, tome 7. N°1. P83-106. Disponible sur : [http://www.numdam.org/article/RSA\\_1959\\_\\_7\\_\\_1\\_\\_83\\_0.pdf](http://www.numdam.org/article/RSA_1959__7__1__83_0.pdf) ( consulté le 17/05/2020).
  - Rastoin J-L. (2015). La Sécurité Alimentaire en Méditerranée : L'Impératif d'une Vision Stratégique Régionale. Food Security in the Mediterranean: The Need for a Regional Strategic Vision. In : *Annales de l'Inrat* (Vol. 389, No. 3563, pp. 1-20). National Institute of Agricultural Research of Tunisia.
  - Rivington M, Matthews KB, Bellocchi G, Buchan K, Stöckle CO, Donatelli M (2007) An integrated assessment approach to conduct analyses of climate change impacts on whole-farm systems. *Environ Model Softw* 22:202–210. doi:10.1016/j.envsoft.2005.07.018
  - Rivington M., Matthews K-B., Bellocchi G., Buchan K., Stöckle C.O., Donatelli M. (2007). An integrated assessment approach to conduct analyses of climate change impacts on whole-farm systems. *Environmental Modelling & Software*, vol. 22, no 2, pp. 202-210.
  - Slivitzky, A.N. et L. Mathier (1994). Climatic changes during the 20th century on the Laurentian Great Lakes and their impacts on hydrologic regime. *Engineering Risk in Natural Resources Management*, Duekstein L. and E. Parent, NATO Advanced Studies Institute Series, Series E Vol.275, Kluwer, 235-251.
  - Soussi I. Boisson J. Mekki I. Therond O. Flichman G. Wery J. Belhouchette H. (2017). Impact assessment of climate change on farming systems in the South Mediterranean area: a Tunisian case study. doi:10.1007/s10113-017-1130-8. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017. 14 p

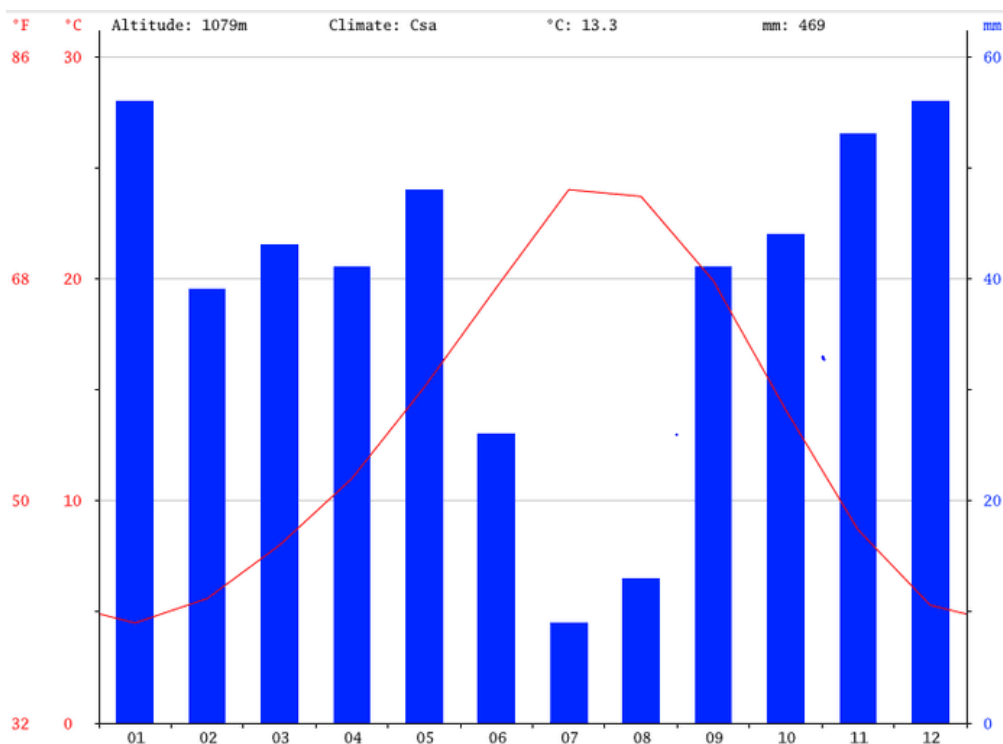
## Références bibliographiques

---

- Touali S. (2019). *Conditions d'engagement des acheteurs potentiels dans un dispositif de Paiements pour Services Environnementaux territorialisés : qualité d'eau & biodiversité*. Mémoire (Master 2 I3P) : CIHEAM-IAMM, Montpellier. 135 p. Master 2 Economie et management publics. Parcours : Ingénierie des Projets et des Politiques Publiques. Co-accréditation Université de Montpellier : Faculté d'Economie, CIHEAM-IAMM.
- Twigg J. (2009). *Characteristics of a Disaster-resilient Community*. University College London.
- USAID&DFID. 2012. *Building resilience to food security shocks in the Horn of Africa*. Discussion note, March 2012. Disponible au [www.fsa.usda.gov/Internet/FSA\\_File/2012\\_frankenberger\\_note.pdf](http://www.fsa.usda.gov/Internet/FSA_File/2012_frankenberger_note.pdf)
- Villar C et David M. (2014). *La résilience, un outil pour le territoire ?* Manuscrit auteur, publié lors du séminaire IT-GO Rosko 2014. Disponible sur : [https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/10/VILLAR\\_DAVID\\_article\\_completV4\\_cle7315c6.pdf](https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/10/VILLAR_DAVID_article_completV4_cle7315c6.pdf) (Consulté le 11/03/2020).
- Yavuz Selim Guclu. (2018). *Multiple Sen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test*. *ScienceDirect*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>

## Annexes

### Annexe 1 : Diagramme climatique de la ville de Sétif (climate-data, 2020)



Test d'égalité des variances (F-Test)

	<i>Pluviométrie-S1</i>	<i>Pluviométrie-S2</i>
<b>Moyenne</b>	38,5086	33,391375
<b>Variance</b>	97,2369903	102,668995
<b>Observations</b>	15	16
<b>Degré de liberté</b>	14	15
<b>F</b>	0,94709206	
<b>P(F&lt;=f) unilatéral</b>	0,46194615	
<b>Valeur critique pour F (unilatéral)</b>	0,40600842	

		Différences appariées				t	Ddl	Sig. (bilatérale)	
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure				Supérieure
<b>Paire 1</b>	<b>Nb_Pluie_S1 Nb_Pluie_S2</b>	5,22	12,9	3,56	-1,9	12,4	1,56	14	<b><u>0,142</u></b>

## Annexes

### Annexe 2: Résultats de la régression linéaire pour l'indicateur : SAU louées (Sorties du logiciel SPSS)

ANOVA<sup>a</sup>

Modèle	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1 Régression	4,610	1	4,610	10,815	<b>,003</b>
Résidu	12,363	29	,426		
Total	16,974	30			

a. Variable dépendante : SAU\_louée

Coefficients<sup>a</sup>

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1 (Constante)	98,881	26,669		3,708	,001
Années	<b>-,043</b>	,013	-,521	-3,289	<b>,003</b>

a. Variable dépendante : SAU\_louée

### Annexe 3: Résultats de la régression linéaire pour l'indicateur : Quantité de l'eau d'irrigation utilisée (Sorties du logiciel SPSS)

ANOVA<sup>a</sup>

Modèle	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
1 Régression	387765,045	1	387765,045	985,438	<b>,000<sup>b</sup></b>
Résidu	11411,363	29	393,495		
Total	399176,408	30			

a. Variable dépendante : Qtq\_eau\_irrig

b. Valeurs prédites : (constantes), Années

Coefficients<sup>a</sup>

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.
	A	Erreur standard	Bêta		
1 (Constante)	26923,460	810,213		33,230	,000
Années	<b>-12,504</b>	,398	-,986	-31,392	<b>,000</b>

a. Variable dépendante : Qtq\_eau\_irrig

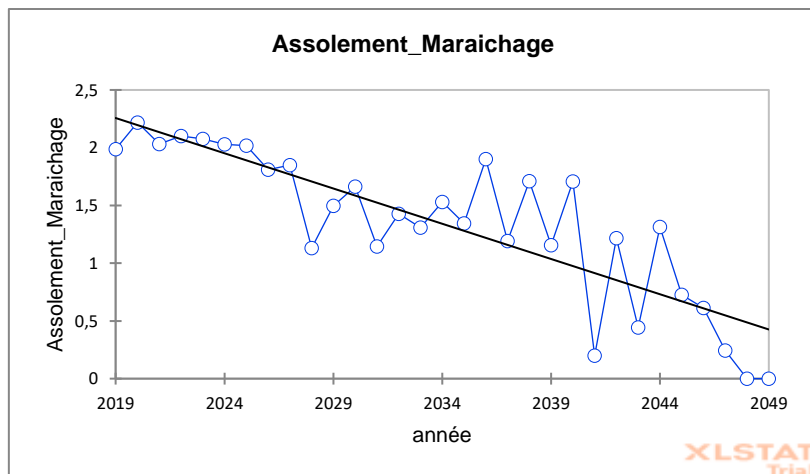
## Annexes

### Annexe 4: Résultats du test Mann-Kendall de tendance pour l'indicateur : Assolement maraîchage (Sortie du logiciel XLSTAT)

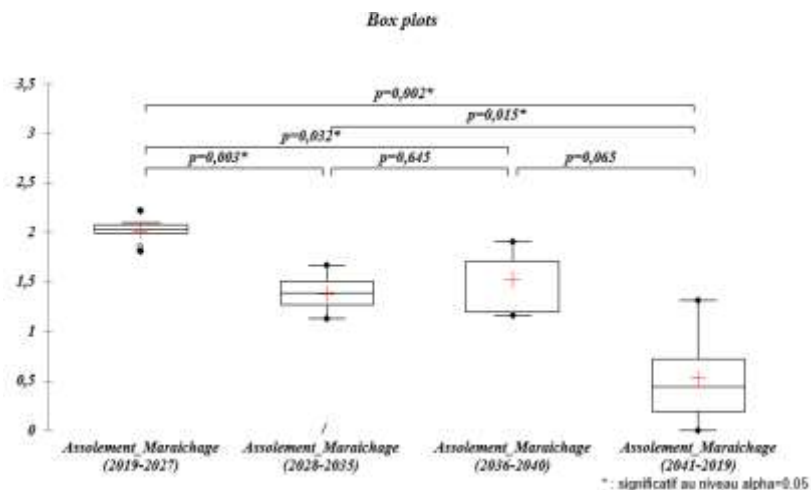
<b>Tau de Kendall</b>	<b>-0,667</b>
<b>S</b>	-310,000
<b>Var(S)</b>	3460,667
<b>P-value (bilatérale)</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
<b>Alpha</b>	0,05

#### Pente de Sen :

	Valeur	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
<b>Pente</b>	-0,060	-0,074	-0,047
<b>Constante</b>	124,250	96,990	151,794



### Annexe 5 : Box plots de comparaisons de variances : le test Kruskal-Wallis (3 ruptures en 2027, en 2035 et en 2040) sur la période 2019-2049



## Annexes

### **Annexe 6 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : Production de lait (2019-2049)**

		Différences appariées					t	Ddl	Sig. (bilatérale)
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure	Supérieure			
Paire 1	Nb_bovin_S1 Nb_bovin_S2	-0,76	1,18	0,31	-0,7	0,58	-0,249	14	<b><u>0,807</u></b>

### **Annexe 7 : Test student de comparaison de moyenne pour l'indicateur : Marge brute (2019-2049)**

Test échantillons appariés									
		Différences appariées					t	ddl	Sig.
		Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure	Supérieure			
Paire 1	Marge_brute_S1 Marge_brute_S2	-64750,58	105473 2,96	304475,18	-734895,94182	605394,77015	-,213	11	<b><u>,835</u></b>

### **Annexe 8: Test Mood pour la série « Trésorerie » entre 2019 et 2049**

Test de Mood :	
U	0,331
Valeur critique	3,841
DDL	1,000
p-value	<b><u>0,565</u></b>
Alpha	0,05