

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة  
الحرش - الجزائر  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE (ENSA)  
El Harrach – ALGER

**THESE**

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

**Thème**

**Intensification et mise en valeur pour une agriculture  
durable dans les régions arides : cas de la wilaya de  
Biskra**

**Réalisé par : BENCHEIKH Abdelaâli**

**Soutenue le : 19 décembre 2017**

**Devant le jury composé de :**

**Président du jury :** Professeur REGUIEG Lyes (ENSA d'Alger)

**Directeur de thèse :** Professeur CHABACA Mohamed Nacer (ENSA d'Alger)

**Examineurs :** Professeur HARTANI Tarik (Centre Universitaire de Tipaza)

Professeur DOUAOUI Abdelkader (Centre Universitaire de Tipaza)

**Année universitaire 2017/2018**

# Remerciements

Tout d'abord je remercie Allah tout puissant pour le courage et toute la patience qu'il m'a donné pour surmonter toutes les difficultés rencontrées durant la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon directeur de thèse Mr. CHABACA Mohamed Nacer, d'avoir accepté de m'encadrer et aussi pour sa disponibilité, sa patience, sa gentillesse et également pour ses conseils qui m'ont permis d'achever ce travail.

J'adresse mes remerciements:

A Mr. REGUIEG L. professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El-Harrach d'avoir accepté de présider le jury.

A Messieurs HARTANI T. et DOUAOUI A. du Centre Universitaire de Tipaza d'avoir acceptés d'examiner notre travail.

Je tiens à remercier chaleureusement l'ensemble de l'équipe du centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides de Biskra (CRSTRA) et surtout la directrice pour son aide. Cette équipe m'a aidé par la mise à disposition du matériel nécessaire à la réalisation des enquêtes.

Je remercie également Mr. NOURANI Ahmed maître de recherche au (CRSTRA) de Biskra pour ses aides durant la rédaction de l'article et l'utilisation des outils d'aide à la décision.

Mes remerciements vont également à mes collègues BETTICHE Farida, Madi Mohamed et BARBARI Fateh, qui m'ont aidé lors de la collecte des données durant l'enquête, sans oublier les guides, les agents technico-commerciaux, et l'ensemble des agriculteurs qui ont contribué à la production de cette thèse.

Merci aussi à toute ma famille BENCHEIKH, surtout mes parents, mes frères et mes sœurs, les membres de ma petite famille. Un grand remerciement à ma femme qui m'a constamment encouragé et soutenu.

Je tiens à remercier Mr. Heddadj Djilali et Mr. Belhadi Aissa et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et tous mes collègues du CRSTRA qui mon soutenu.

**Abdelaâli**

# Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents ;

Mes frères et sœurs;

Ma femme ;

Mes fils ;

Et toutes mes connaissances.

*Abdelaziz*

## Table des matières :

Liste des tableaux.....	v
Liste des figures .....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Introduction générale : .....	1
Chapitre I : l'agriculture dans la Wilaya de Biskra.....	9
1. Caractérisation de la wilaya.....	9
1.1. Ressources en eau.....	10
1.2. L'agriculture dans la région de Biskra .....	12
1.2.1. Mutations agricoles dans les oasis algériennes :.....	12
1.2.2. Historique :.....	12
1.2.3. Situation de l'agriculture dans la wilaya de Biskra .....	13
1.2.4. Situation de la production végétale sous serre dans la wilaya de Biskra.....	14
Chapitre II : la durabilité et l'agriculture durable : concepts et pratiques .....	17
Introduction.....	17
1. Définitions .....	17
1.1. Durabilité :.....	17
1.2. Développement durable (DD) :.....	18
1.2.1. Historique :.....	18
1.2.2. Les trois piliers du développement durable : .....	20
2. Agriculture durable.....	20
2.1. Définition .....	20
2.2. Transition vers une agriculture durable.....	21
2.3. Bases et principes de l'agriculture durable : .....	23
2.4. Formes de l'agriculture durable : .....	23
2.4.1. Agriculture écologiquement intensive (AEI) :.....	24
2.4.2. Agro écologie.....	24
2.4.3. Agriculture biologique (organique) : .....	24
2.4.4. Agriculture à faible niveau d'intrants et de la lutte antiparasitaire intégrée (IPM). 25	
2.4.5. Eco agriculture .....	25
2.4.6. Agriculture pérenne à base de vivaces ( <i>Perennial-based agriculture</i> ).....	25

2.4.7.	Permaculture :	26
2.4.8.	Agriculture de conservation	26
2.4.9.	Agriculture raisonnée	26
2.4.10.	Agriculture de précision	27
2.5.	Pratiques agronomiques durable :	27
3.	Méthodes d'évaluation de la durabilité de l'agriculture	28
3.1.	Nécessité d'un diagnostic initial (pourquoi évaluer ?)	28
3.2.	Une multitude de méthodes d'évaluation	29
3.3.	Au niveau Algérien :	32
3.4.	Détermination des utilisateurs ciblés :	32
3.5.	Choix des indicateurs	33
Chapitre III : Description des pratiques culturales et de la gestion des serres		39
Introduction		39
1.	Méthodologie :	39
1.1.	Objectif :	39
1.1.	Conception et mise en place d'enquête	40
1.1.1.	Pré-enquête : mai et juin 2014	40
1.1.2.	Critères de choix des exploitations	40
1.1.3.	Enquête proprement dite : saison 2014-2015	40
1.1.4.	Saisi et traitement des données :	41
1.1.5.	Les régions concernées par le suivi sont :	41
1.1.6.	Raison du choix de ces régions :	42
2.	Résultats et discussions	45
2.1.	Caractérisation des exploitations :	45
2.1.1.	Critères physiques et sociaux des maraîchers	46
2.1.2.	Structure et emplacement des serres	50
2.1.3.	Travail du sol et gestion des machines	50
2.1.4.	Les itinéraires culturaux à l'intérieur des serres	52
2.1.5.	Fertilisation et application du fumier	55
2.1.6.	Gestion des eaux d'irrigation	56
2.1.7.	Traitements phytosanitaires :	58
2.1.8.	Récolte et vente :	61

2.2. Typologie des exploitations :	62
2.2.1. Test chi deux :	63
2.2.2. Analyse en composantes principales	64
2.2.3. Choix d'une classification des exploitations	66
Conclusion	69
Chapitre IV : Evaluation de la durabilité du système de production maraichère sous serre dans la région de Biskra	70
Introduction	70
I. Evaluation de la durabilité des structures de serres agricoles par l'utilisation du processus d'analyse hiérarchique multicritères (AHM).	70
1. Méthodologie	70
1.1. Cadre méthodologique de structuration des indicateurs de durabilité dans les régions arides (figure 16) :	71
1.2. Enquête	72
1.3. Présentation de l'AHM	73
1.3.1. Principes fondamentaux de l'AHM	73
1.3.2. Établissement de la structure hiérarchique	73
1.3.3. Établissement des priorités	73
1.3.4. Cohérence de jugements	74
1.4. Présentation du Logiciel Super Décisions	76
1.5. Alternatives	77
1.5.1. Alternative 1: serre tunnel (ST)	77
1.5.2. Alternative 2: Serre canarienne (SC)	77
1.6. Choix des indicateurs	78
1.6.1. Critères économiques:	78
1.6.2. Critères écologiques	79
1.6.3. Critères sociaux	80
2. Résultats et discussion	81
2.1. Établissement de la structure hiérarchique	81
2.2. Comparaison par paire	82
2.2.1. Les agriculteurs	83
2.2.2. Spécialistes agricoles	85
2.3. Cohérence des jugements	87

2.4. Synthèse des résultats.....	87
2.4.1. Dimension économique .....	88
2.4.2. Dimension environnementale .....	88
2.4.3. Dimension sociale.....	88
II. Evaluation de la durabilité du système de production maraichère sous serre dans la région de Biskra en se basant sur des indicateurs .....	89
1. Méthodologie.....	89
2. Résultats et discussions : .....	89
2.1. Analyse de corrélation.....	89
2.2. Niveaux de durabilité agricole .....	90
2.2.1. Sans pondération des indicateurs .....	91
2.2.2. Avec pondération des indicateurs .....	94
Conclusion .....	96
Chapitre V : Analyse du bilan énergétique et de l'indice de mécanisation de la plasticulture dans le sud Algérien. Un aperçu de la Wilaya de Biskra .....	99
Introduction :.....	99
1. Matériels et méthodes.....	99
1.1. Mesure des inputs et des outputs énergétiques.....	100
1.2. Estimation de l'état de mécanisation .....	102
2. Résultats et discussion.....	103
2.1. Analyse d'énergie entrée - sorties utilisées.....	103
2.2. Analyse économique .....	107
2.3. Analyse de l'état de la mécanisation.....	109
3. Conclusion.....	110
Conclusion générale.....	112
Références bibliographiques:.....	115
Annexe 01 : Pré-enquête.....	a
Annexe 02 : cahier de l'agriculteur (enquête proprement dite) .....	c
Annexe 03 : Comparaison des critères.....	r

## Liste des tableaux

Tableau1 : différentes approches de l'évaluation de la durabilité.....	30
Tableau2 : nombre des indicateurs sélectionnés et dimension de la durabilité.....	35
Tableau3: Effectifs des agriculteurs des 6 communes .....	44
Tableau4 : répartition des exploitations enquêtées selon les communes. ....	45
Tableau5 : Origine des agriculteurs .....	46
Tableau6 : nombre de serres Canariennes (2014-2015).....	48
Tableau7 : Le statut foncier des agriculteurs .....	48
Tableau8 : Charges de chaque partie en association par (1/3) .....	49
Tableau 9 : nombre de passages selon les outils mécaniques. ....	51
Tableau10 : critères de pilotage des irrigations .....	58
Tableau11 : nombre de produits pesticides total utilisé mentionné par les agriculteurs.....	60
Tableau 12 : moyens de protection lors des traitements .....	61
Tableau13 : Pourcentage d'inertie et valeurs propres des axes de l'ACP.....	64
Tableau14 : la matrice des composantes de l'ACP.....	65
Tableau15 : Échelle proposée par Saaty .....	75
Tableau16 : Valeurs de l'indice de cohérence aléatoire (CA) en fonction de l'ordre de la matrice .....	76
Tableau17 : Ensemble d'indicateurs choisis pour la mesure de la durabilité agricole .....	81
Tableau18 : Matrice de la comparaison par paires de critères pour les agriculteurs.....	83
Tableau19 : Valeur propre de chaque critère pour les agriculteurs.....	83
Tableau20 : Score moyen de chaque structure de serre pour les agriculteurs .....	84
Tableau21 : Matrice des critères de comparaison par paires pour les spécialistes agricoles .....	85
Tableau22 : Vecteur propre de chaque critère pour les spécialistes agricoles .....	86
Tableau23 : Score moyen de chaque structure de serre pour les spécialistes agricoles.....	86
Tableau24 : Statistiques descriptives des indicateurs de durabilité .....	89
Tableau25 : Matrice de corrélation des indicateurs sélectionnés.....	90
Tableau26 : la différence des valeurs des indicateurs avant et après pondération .....	96
Tableau27 : Coefficients d'équivalence énergétique.....	100
Tableau28 : Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production végétale protégée .....	104
Tableau29 : Rapport d'énergie input - output dans la production maraichère sous serre.....	106
Tableau30 : Consommation totale d'énergie sous forme directe, indirecte, renouvelable et non renouvelable pour la production de légumes .....	107
Tableau31 : Analyse économique de la production de légumes de serre.....	108
Tableau32 : Part des DM dans les activités totales dans la production maraichère sous serre .....	109
Tableau33 : Indice de mécanisation et ratio énergétique des machines pour différentes tailles d'exploitations.....	110



## Liste des figures

Figure 1: Situation de la zone d'étude .....	10
Figure 2 : Evolution des surfaces de légumes en plein champ et sous serre .....	15
Figure 3 : évolution des productions agricoles .....	15
Figure 4: Typologie des indicateurs en fonction des modalités d'obtention des valeurs et de leurs atouts et limites .....	34
Figure 5 : Situation des régions étudiées .....	42
Figure 6 : évolution des surfaces des serres des 6 communes et surface totale des serres de la wilaya (2000-2014), .....	43
Figure 7 : évolution des productions des serres des 6 communes et la production totale des serres de la wilaya (2000-2014), .....	43
Figure 8 : surface agricole totale par exploitation.....	46
Figure 9 : surface agricole utile par exploitation .....	47
Figure 10 : Nombres de serres tunnels par exploitation.....	47
Figure 11 : type de rotation en culture sous serre tunnel .....	54
Figure 12: Cultures principales choisies par l'agriculteur .....	54
Figure 13 : type de fumier organique utilisé .....	56
Figure 14 : production estimée des différentes cultures (Qx/serre) .....	62
Figure 15 : arbre hiérarchique des classes typologiques des exploitations enquêtées .....	68
Figure 16 : Méthodologie de travail.....	72
Figure 17 : Modèle à trois réseaux sur <i>SuperDecision</i> .....	76
Figure 18 : Structure hiérarchique pour la sélection d'une structure de serre durable .....	82
Figure 19 : Résultat des valeurs propres affichées sur <i>SuperDécisions</i> .....	84
Figure 20 : Score moyen de chaque structure de serre affiché sur <i>SuperDecision</i> .....	87
Figure 21 : Moyenne des différentes dimensions de la durabilité agricole pour la région de Biskra (sans pondération) .....	91
Figure 22 : Valeurs des indicateurs sélectionnés .....	92
Figure 23 : Comparaison de l'IDA des différentes communes de Biskra .....	94
Figure 24 : Moyenne des différentes dimensions de la durabilité agricole pour la région de Biskra (avec pondération). .....	95
Figure 25 : Valeurs des indicateurs sélectionnés (avec pondération) .....	96
Figure 26 : Répartition en pourcentage des intrants énergétiques dans la plasticulture.....	103

## Liste des abréviations

- A.B.H.S. : Agence de Bassin Hydrographique Sahara
- A.C.P. : Analyse en Composante Principale
- A.N.A.T. : Agence Nationale d'Aménagement de Territoire.
- A.C.L. : Analyse de cycle de la vie.
- A.E.I. : Agriculture écologiquement intensive.
- A.N.R.H. : Agence nationale des ressources Hydrauliques.
- B.I.D. : Biodiversité.
- B.P.A. : Bonnes pratiques agricoles.
- C. T. : Complexe terminal.
- C.A.H. Classification Ascendante Hiérarchique
- C.I. : Continental Intercalaire.
- C.D.F. : The Creative Decisions Foundation.
- C.E.A. : Cout de l'utilisation de la puissance animale.
- C.E.H. : Cout de la main-d'œuvre.
- C.E.M. : Cout de l'utilisation de la machine,
- C.H.I. : Intrants chimiques.
- C.V. : Charges variables.
- D.C.E. : Durabilité des cultures énergétiques.
- D.D. : développement durable.
- D.M. : Degré de mécanisation.
- D.S.A. : Directions des services agricoles.
- E.D.A.M.A. : méthode d'Evaluation de la Durabilité pour l'Accompagnement des Ménages Agricoles.
- E.E.A. : European Environmental Agency

E.M.P. : Emploi.

E.N. : Energie net.

E.N.R. : Energie non renouvelable.

E.R. : Energie renouvelable.

E.U.E. : Efficacité de l'utilisation énergétique.

F.A.O. : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

H.E.S. : Sécurité sanitaire.

I.D.A. : Indice de durabilité de l'agriculture.

I.D.E.A. : indicateurs de la durabilité des exploitations agricoles

I.M. : Indice de mécanisation,

I.R.R. : Système d'irrigation.

I.T.D.A.S. : Institut technique de développement de l'agriculture saharienne.

L.I.Q. : Qualité de vie.

M.B. : Marge brute.

M.O.T.I.F.S. : MOnitoring for Integrated Farm Sustainability.

O.C.D.E. : Organisation pour la coopération et le développement économique

P.E. : Productivité énergétique.

P.R.D. : Productivité.

P.R.F. : Rentabilité.

R.B. : Revenu brut.

S.A.F.E. : Evaluation de la durabilité de l'agriculture et de l'environnement.

S.A.T. : Surface agricole Totale.

S.A.U. : Surface agricole utile.

S.C. : serre canarienne.

S.T. : Serre tunnel.

T.I.L. : Travail du sol.

## **Introduction générale :**

L'agriculture dans les régions arides est soumise à de nombreux défis qui rendent ces systèmes vulnérables aux changements globaux du 21<sup>ème</sup> siècle (sécheresse, réchauffement climatique, épuisement des ressources naturelles, pollution, augmentation des populations, ... etc).

Cela a conduit certains auteurs à écrire, il y a déjà trois décennies « *il faut éliminer l'agriculture des zones arides* » (Planhol et Rognon, 1984 in Dubost, 2002). Ces déclarations sont considérées aujourd'hui comme des convictions vues les impressionnants effets de l'agriculture dans ces régions.

En réalité, l'agriculture dans les régions arides a connu un développement remarquable ayant conduit à une augmentation significative des rendements supportés par une prospérité dans la plasticulture. Cette dernière s'est développée grâce à des conditions climatiques favorables, de la disponibilité du foncier et de l'eau souterraine et de la politique de la subvention de l'Etat. En raison de cette évolution, la wilaya de Biskra a occupé les premières places dans la production de légumes à l'échelle nationale où la superficie occupée par les serres a augmenté de 528,52% (Belhadi et al., 2016). Elle fournit actuellement autour de 32% des besoins nationaux en maraichages (Rekibi, 2015). Cette perspective attire de plus en plus d'agriculteurs de l'intérieur et de l'extérieur du pays (Amichi et al, 2015).

Cependant, ce développement s'il n'est pas soumis à une gestion intégrée de l'ensemble des ressources, risque de porter un préjudice certain à la durabilité de l'agriculture dans cette région. Dans ce contexte, la durabilité de l'agriculture est une préoccupation importante en raison des conséquences négatives de des pratiques sur l'eau, le sol, la pollution de l'air et la santé humaine et animale. Concernant la détérioration des ressources naturelles, une évaluation des systèmes de production agricole et animale est fréquemment appliquée en considérant les trois piliers: environnemental ou agro-écologique, socio-territorial et économique. Dans ce sens, Vilain et al. (2008) déclarent que « toute activité économique pour être durable doit être écologiquement saine, socialement juste et économiquement viable ».

De plus, la durabilité de l'agriculture est essentielle pour la sécurité de l'alimentaire d'une part, et la préservation des ressources naturelles d'autre part. L'agriculture est considérée durable

lorsqu'elle ne produit aucun impact négatif sur les facteurs de production et l'environnement (Bonny, 1994 ; Murua et Laajimi, 1995 ; Calow, 1998). L'application de ce principe a donné naissance à plusieurs appellations: agriculture biologique, de conservation, permaculture, ... etc. Pour concrétiser une gestion durable des ressources, des règles dans l'implantation et la conduite des cultures appelées bonnes pratiques agricoles doivent être respectées (Van der Werf et Petit 2002).

Selon Yang et Mei (2017), le concept de développement durable a évolué depuis sa première apparition lors d'une conférence sur la biosphère à Paris (1968). Le concept de durabilité en lien avec le paradigme de développement mondial est apparu pour la première fois dans *The Ecologist* en 1972. Le développement durable a été introduit comme recommandation explicite dans le rapport Brundtland de 1987 (CMED, 1987). Ce dernier réclame la nécessité de prendre en considération les besoins des générations futures simultanément aux besoins des générations présentes.

Depuis la conférence de Rio en 1992, la durabilité est devenue une question centrale et elle est citée dans de nombreux programmes d'action et de recherche. Cependant, ce concept n'a pas réussi à atteindre un consensus sur sa mise en œuvre jusqu'à présent même si un accord a émergé sur la nécessité de développer des méthodes d'évaluation basées sur des indicateurs de durabilité comme condition préalable à la mise en œuvre (Bockstaller et al., 2017).

L'évaluation de la durabilité de l'agriculture consiste à dresser un état des lieux sur la situation du système étudié, pour savoir quels sont les enjeux environnementaux qui présentent des problèmes et quels sont les points à améliorer, etc... Cela peut se faire par la sélection des indicateurs et le choix de la méthode et l'approche appropriés pour l'évaluation. Donc, il est nécessaire d'évaluer la durabilité des systèmes agricoles afin d'identifier les zones de faiblesse et les opportunités d'amélioration susceptibles d'éclairer les interventions, la recherche et les politiques publiques.

L'évaluation de la durabilité est une méthode complexe. Elle est menée pour soutenir la prise de décision et la politique dans un large contexte environnemental, économique et social, et transcende une évaluation purement technique / scientifique (Sala et al., 2015). C'est en outre un problème multicritère qui répond à plusieurs questions appartenant à différents thèmes structurés dans les dimensions de la durabilité (Bockstaller et al., 2017).

Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation de la durabilité. Bockstaller et al., (2017) distinguent trois groupes: les indicateurs composites, les méthodes d'évaluation multicritères et la combinaison des arbres de décision avec la logique floue. Ce dernier permet de pallier les insuffisances des précédents comme leur forte dépendance aux comparaisons par paires, à la normalisation, à la pondération et en général à la méthode d'agrégation.

On peut trouver au niveau mondial une littérature riche et croissante sur les approches conceptuelles utilisées pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de production agricole : Del'homme (2005) et Srour et al., (2009) ont essayé d'adapter la méthode IDEA. Le premier pour l'évaluation de la durabilité de 26 exploitations viticoles dans la région de l'Entre-Deux-Mers en France et le deuxième pour l'évaluation de la durabilité des élevages de petits ruminants au Liban. Gomez-Limon et Riesgo, (2009) ont construit un indicateur composite pour mesurer la durabilité d'un système irrigué dans le bassin de Duero en Espagne par la comparaison de trois méthodes d'évaluation à savoir l'ACP, AHM et la technique multicritères. Castoldi et Bechini (2010) intègrent la valeur de 15 indicateurs économiques et environnementaux dans un indice globale de durabilité agricole au nord de l'Italie. Sabiha et al., (2016) mesurent la durabilité environnementale d'une rizière au nord-ouest du Bangladesh par l'adoption d'un indicateur composite.

En Algérie, il y a un intérêt croissant pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de production maraichers sous serre et plus spécialement dans les régions arides comme Biskra.

C'est un sujet relativement récent et les essais réalisés dans ce domaine, malgré leur importances et utilité, restent limités. Ils n'ont pas dépassés le caractère descriptif et l'aspect de diagnostic.

Les travaux de recherche agronomique en Algérie s'orientent plus sur les aspects de durabilité environnementaux et économiques. Pour cela, ce travail vient enrichir ce domaine de recherche qui reste vierge en considérant trois aspects.

La plupart des études sur le maraichage à Biskra ont porté sur l'état des lieux des systèmes de productions agricoles. Par exemple, les arrangements autour du foncier (Daoudi et Colin, 2016), le statut économique de la filière (Rekibi, 2015) ou la gestion des ravageurs (Allache et al., 2015). Cependant, la caractérisation des pratiques adoptées et leur durabilité ont été peu étudiées.

Au niveau de l'Algérie, la plupart des travaux ont porté sur la durabilité des systèmes de production animale. Ces travaux sont basés sur l'adaptation de la méthode (IDEA) pour la construction des indicateurs. On peut citer à titre d'exemple : Ghozlane et al., (2010a) ; Ghozlane et al., (2010b) ; Yakhlef et al., 2005 qui ont essayé d'évaluer la durabilité des systèmes d'élevage bovin dans la région de Tizi-Ouzou, d'El Tarf et de Sétif, respectivement. Belmessaoud, (2011) focalise sur l'élevage des petits ruminants dans un contexte saharien. Benidir, (2015) consacre son travail à l'évaluation de la durabilité des systèmes d'élevage ovin en zone steppique (Djelfa).

Le choix des indicateurs est une étape importante dans l'évaluation de la durabilité. Cette étape est basée sur plusieurs phases : analyse multivariée, normalisation, pondération, agrégation, analyse de robustesse et de sensibilité.

Le manque de travaux analysant d'une manière globale la durabilité des pratiques agricoles nous a conduits à la réalisation de ce travail dans la région des Ziban. Dans un premier temps, on essaye de repérer les risques possibles et les moyens de les éviter. Ensuite une recherche de critères caractérisant la « durabilité » pour le diagnostic d'exploitation est menée. Pour cela nous avons adressé notre recherche sur l'état des pratiques agricoles au niveau des exploitations agricoles, l'impact de ces pratiques et quelles alternatives pour maintenir la durabilité de ce système. Notre étude considère la plasticulture dans la région des Ziban vue à l'importance de la filière « légumes sous abri » dans la région et sa particularité de point de vue augmentation des rendements et sur-utilisation des ressources naturelles et intrants chimiques. Dans ce cadre, les exploitations entièrement sérricoles et celles qui pratiquent la sérriculture ont été prises en compte.

Pour investiguer l'état actuel de l'agriculture dans la région de Biskra, nous avons posé la problématique suivante:

A quel niveau peut-on assurer une durabilité économique, environnementale et sociale par la mise en valeur et l'intensification actuelle de l'agriculture?

De cette question principale, découlent les questions particulières suivantes:

- Peut-on nous assurer une solidarité entre générations en maintenant les pratiques agricoles adoptées actuellement?
- A quel niveau l'utilisation des ressources naturelles et des intrants chimiques peut intervenir dans la préservation/dégradation de l'environnement?
- Est-ce qu'on peut conserver la productivité des cultures, des eaux et des terres en même temps que la rentabilité économique par le mode actuel de l'intensification ?

Pour répondre à ces questions nous avons émis les hypothèses suivantes:

- Il semble, que les ressources en eau et en sol sont vulnérables du fait de l'augmentation de la demande provenant de l'accroissement des populations, des changements climatiques et de la pollution potentielle,
- Il est possible d'évaluer la durabilité d'un système de production agricole en quantifiant l'ensemble de ses caractéristiques.

Pour tester ces hypothèses, des enquêtes sur les pratiques culturales auprès de 85 producteurs serristes ont été menées. Le questionnaire a été développé autour des éléments suivants :

- caractériser les exploitations étudiées ;
- déterminer des indicateurs qui représentent la complexité du système concerné ;
- apprécier l'état de la durabilité des deux types de serre (Canarienne / tunnel) et du système d'une façon globale ;
- établir un aperçu du bilan énergétique du système de cultures en maraîchage sous serre.

La conception et la mise en place des enquêtes s'est déroulée sur deux phases :

- Pré-enquête auprès des organisations impliquées dans la gestion de l'agriculture (DSA, ABH, ANRH, ITDAS, ...), le secteur privé représenté par les commerçants des produits de production agricole et les agents technico-commerciaux, les agriculteurs qui sont l'acteur le plus important dans ce système.
- Enquête : concerne la description des pratiques et des itinéraires culturaux sous serre :
  - Caractéristiques physique et sociales (présentation de l'exploitation ; profil de l'agriculteur, spéculations, ...)



- Travail du sol (machines possédées ou louées, temps de travail et coût) ;
- Installation et coût des serres ;
- Itinéraires culturaux dans la serre et les variétés de plants choisies ;
- Engrais et amendements organiques (nature des engrais, quantités, fréquences et coûts) ;
- Gestion de l'eau d'irrigation (pilotage et description du réseau) ;
- Pratiques phytosanitaires (produits utilisés, doses, fréquences et coûts) ;
- Récolte et vente (nombre de récoltes, rendements, coût de transport et prix moyen de vente).

Le logiciel statistique SPSS version 20 a été utilisé pour la caractérisation des exploitations agricoles en appliquant trois tests : analyse du chi deux ( $X^2$ ), analyse en composantes principales et l'analyse de la classification hiérarchique ascendante.

En parallèle des enquêtes, des interviews ont été organisées avec 10 spécialistes agricoles qui sont des décideurs, des gestionnaires, des chercheurs ou des dirigeants de plans de développement agricole dans la région. Ces spécialistes sont impliqués pour l'attribution des poids aux indicateurs devant servir à la mise en œuvre de l'analyse hiérarchique multicritères (AHM). Ce dernier est destiné à faciliter le processus de décision par l'attribution de l'importance des différents indices (Yang et Mei, 2017). Le logiciel Super Décisions (CDF, 2001) a été utilisé pour affiner la prise de décision en examinant la cohérence et logique des préférences.

Pour analyser le flux d'énergie, les indexes du rapport énergétique ont été calculés. En plus, une estimation de l'état de mécanisation, du degré de mécanisation, indice de mécanisation et le ratio énergétique des machines (indice machine).

Pour mener à bien ce travail, l'architecture de cette thèse est structurée selon cinq chapitres d'une introduction et d'une conclusion, d'une bibliographie et de trois annexes regroupant la description de l'enquête, la grille d'évaluation de la durabilité. Les chapitres 1 et 2 sont dédiés à la recherche bibliographique alors que, les trois derniers chapitres sont consacrés à la partie expérimentale d'une façon que chaque chapitre comprend une introduction, une méthodologie, des résultats et discussions et une conclusion.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la région d'étude, nous avons donné un aperçu sur les caractéristiques naturelles (climat, sol et ressources en eau) suivi par une évolution chronologique de développement agricole et de la mutation agricole dans les oasis des Ziban. On souligne l'importance de la production maraichère sous serre dans la wilaya, après la mise en évidence de la situation de l'agriculture dans la wilaya de Biskra.

Le chapitre 2 aborde les définitions, les bases et les principes de la durabilité et l'agriculture durable toute en passant sur l'historique de l'émergence de ces notions à partir du terme du développement durable. En deuxième lieu, on aborde, à partir de la bibliographie, une revue sur les différentes formes de l'agriculture durable, puis, on introduit les pratiques agricoles durables en donnant des exemples. On signale la nécessité de l'évaluation de la durabilité de l'agriculture par la construction des indicateurs appropriés aux conditions locales, en plus nous avons proposé une brève description des différentes approches de l'évaluation de la durabilité.

Le chapitre 3 est consacré à la méthodologie de l'enquête. Nous avons fait le choix d'une méthode d'enquête directe par questionnaire sur un échantillon qui provient de 6 communes dans la wilaya de Biskra (M'ziraa, Ainnaga, Sidi Okba, Elaghrou, Doucen et Lioua) en tenant compte des pratiques agricoles adoptées. Ce chapitre aborde aussi une description des résultats obtenus sur les pratiques agricoles adoptées suivi par une typologie de l'exploitation basée sur une analyse en composantes principales et une classification hiérarchique.

Le chapitre 4 est consacré à l'évaluation de la durabilité du système de production maraichère sous serre dans la région de Biskra par trois approches : utilisation du processus d'analyse hiérarchique multicritères (AHM), structuration des indicateurs sans pondération et avec pondération. Pour cela, le cadre méthodologique de structuration des indicateurs de durabilité, le processus d'analyse hiérarchique multicritères, les deux alternatives, les neuf indicateurs choisis ont été présentés.

Le dernier chapitre, porte sur un axe très intéressant pour la compréhension et la maîtrise du concept de la durabilité. Il s'agit de l'analyse du bilan énergétique et l'indice de mécanisation de la plasticulture dans la Wilaya de Biskra.

Enfin, la conclusion générale synthétise les principaux apports de la thèse.

# **Partie**

# **bibliographique**

## Chapitre I : l'agriculture dans la Wilaya de Biskra

L'objectif de ce chapitre est de caractériser la wilaya de Biskra en nous focalisant sur ses potentialités agricoles.

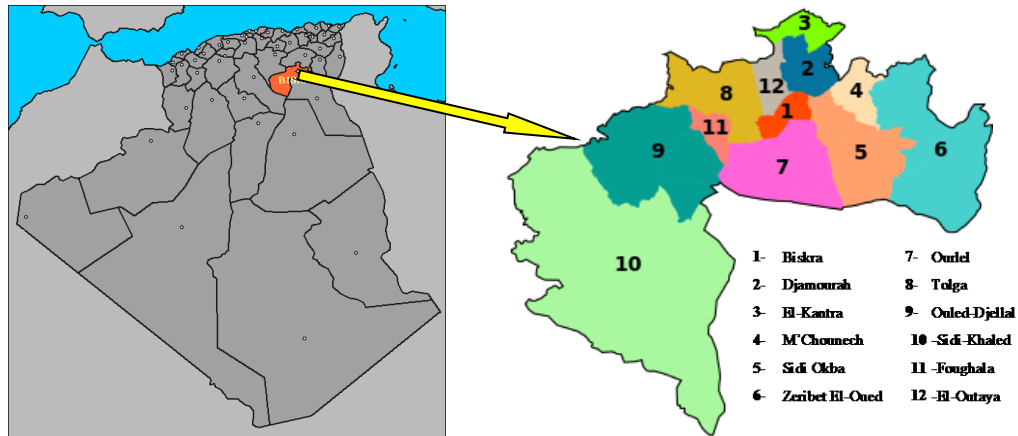
### 1. Caractérisation de la wilaya

La zone d'étude est située dans le sud-est du pays, Biskra, la « porte du Sahara ». La hauteur au-dessus du niveau de la mer y est de 112 m, ce qui en fait l'une des plus basses villes. Le chef-lieu de la Wilaya est situé à environ 400 km de la capitale, Alger. Elle a une superficie de 21671 km<sup>2</sup>, divisée en 12 districts administratifs (daïras). La wilaya de Biskra est limitée par les wilayate de Batna au Nord, celle de M'Sila au Nord-Ouest, Djelfa au Sud-ouest, El Oued au Sud, et Khenchela au Nord et à l'Est (figure 01).

Biskra a un climat chaud et désertique, avec des étés très chauds et secs et des hivers doux, caractérisée par une grande irrégularité dans la distribution de la pluviométrie. Avec des précipitations annuelles moyennes, entre 120 et 150 mm/an. La température moyenne annuelle est de 20,9°C, avec des moyennes mensuelles de 4,8°C et 49,5°C en janvier et juillet, respectivement. L'évapotranspiration est très importante dans notre région d'étude, surtout pendant la saison sèche (été) où elle atteint 417 mm au mois de Juillet (renforcée par les vents chauds). Cependant, son minimum est observé au mois de Janvier avec une moyenne de 101 mm. L'évapotranspiration annuelle moyenne est d'environ 1836 mm, donc, l'agriculture dépend fortement de l'irrigation par les eaux souterraines. La wilaya possède deux grands barrages en exploitation dont la capacité cumulée est d'environ 100 millions de mètre cubes mais ils ne contribuent pas à l'irrigation des serres dans la région vue leurs réserves limitées.

Biskra est considérée comme l'un des plus importants producteurs de légumes primeurs en Algérie, en raison de facteurs climatiques convenables (températures favorables, niveaux élevés de rayonnement solaire et évapotranspiration). Selon Rekibi (2015), la Wilaya de Biskra assure plus de 32% de la production nationale de cultures protégées, ce qui en fait le premier producteur de légumes en Algérie. C'est entre autre pour cette raison, que cette étude a été réalisée dans cette région.

Les reliefs de Biskra constituent la transition entre les domaines atlantiques (ou méditerranéens au nord et les étendues désertiques du Sahara au sud.



**Figure 1:** Situation de la zone d'étude

La Wilaya de Biskra est constituée d'une plaine d'accumulation alluvions sableuses à limono-sableuse. Les sols sont caractérisés par des faibles profondeurs et une faible teneur en matière organique et une très forte salinité. Les études pédologiques ont montré que la région des Ziban présente trois classes principales de sols (A. N. A. T., 2003) :

- Classe des sols peu évolués ;
- Classe des sols calcimagnésiques ; Ces sols sont les plus répandus dans la wilaya
- Classe des sols halomorphes.

### 1.1.Ressources en eau

La wilaya de Biskra fait partie du grand bassin hydrogéologique du Sahara Septentrional caractérisé par deux systèmes aquifères, le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI). Ces derniers constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde dont la ressource en eau mobilisable est estimée à 5 milliards de mètres cubes (ERESS, 1972 in Bouchemal et Achour, 2015).

Les ressources en eau souterraines de la région de Biskra se localisent sur plusieurs réservoirs aquifères d'importance bien distincte du point de vue de leur constitution lithologique, leur

structure géologique et les facilités d'exploitation qu'ils présentent. Ces aquifères appartiennent aux étages suivants (A.N.A.T, 2003) :

- Le Mio-plio-Quaternaire (représenté par la nappe des sables et la nappe superficielle du Quaternaire) ;
- L'Eocène inférieur (nappe des calcaires) ;
- Le Sénonien supérieur (Maestrichtien) ;
- L'Albien et le Barrémien (nappe du continental intercalaire).

Selon Bouchemal et Achour (2015), pour les nappes Phréatiques, du Miopliocène et celle de l'Eocène inférieur, les caractéristiques minérales des eaux sont apparues médiocres avec parfois des valeurs non conformes aux normes de potabilité. Cependant, les eaux de la nappe des calcaires et du Maestrichtien présentent une qualité physico-chimique et notamment minérale plus acceptable en particulier en ce qui concerne la minéralisation totale et certains paramètres de pollution.

La nappe de l'Eocène inférieur est la plus sollicitée dans la partie Ouest de la wilaya (Oasis de Tolga). La qualité hydro-chimique des eaux de cette nappe a connu une grande dégradation au cours de ces dernières années à cause de la mauvaise gestion de cette précieuse ressource.

La wilaya de Biskra possède deux grands barrages en exploitation, en l'occurrence celui de Foug El Gherza (Sidi Okba) avec une capacité brute de 47 Hm<sup>3</sup> et un volume régularisable de 20 Hm<sup>3</sup> et le barrage de Fontaine des Gazelles (El Ouataya), dont la mise en eau a été faite en l'an 2000 avec une capacité brute 55,49 Hm<sup>3</sup> et un volume régularisable de 14 Hm<sup>3</sup>.

La sécheresse et l'envasement de ces deux barrages ont contribué à la diminution des réserves d'une année à une autre ; le barrage de Foug El Gherza est destiné exclusivement à l'irrigation de la palmeraie de Sidi Okba par ailleurs, le barrage de Fontaine des Gazelles assure l'irrigation d'une partie de la plaine de El Ouataya qui est exclue de la sériculture.

## **1.2.L'agriculture dans la région de Biskra**

### **1.2.1. Mutations agricoles dans les oasis algériennes :**

L'agriculture saharienne qui n'était qu'une agriculture vivrière et de subsistance familiale a connu des changements depuis deux décennies ; les oasis ont été modernisées et sont devenues un symbole de dynamisme agricole qui assure la prospérité de plusieurs centaines de familles, très souvent venant d'autres régions d'Algérie. Elle est ainsi passée d'une agriculture de subsistance, limitée spatialement, à une agriculture de marché de type « front pionnier », spontanée mais fortement encouragée par l'État (Bisson, 2003 *in* Hamamouche et al., 2015). Cette mutation est due en premier lieu aux atouts, réunis dans ces régions (climatiques et démographiques), favorables à l'expansion de la plasticulture. Le nouveau dynamisme agricole saharien possède plusieurs visages (Hamamouche et al., 2015). Il est caractérisé par l'association de serres et de palmiers dattiers *deglet nour* sur une même exploitation agricole et est fondée sur des arrangements informels pour l'accès aux ressources entre une multitude d'acteurs (Amichi et al., 2015).

Les exploitations sahariennes sont confrontées à plusieurs difficultés (vent, sable, soleil, crues). Ces différentes agressions peuvent mettre en cause la durabilité de cette agriculture saharienne.

### **1.2.2. Historique :**

La révolution agraire en 1972 cherche à mieux répartir les moyens de production agricole, par le biais d'une redistribution des terres agricoles aux paysans sans terres, tout en supprimant le statut social de *khammès* y compris les terres *aârch* (Hamamouche et al., 2015). Cette initiative incite les agriculteurs à cultiver leurs terres par crainte de les perdre. De plus, Cette orientation est suivie par une vague de colonisation informelle des terres nationalisées par des jeunes descendants des anciens *khammès* pour s'approprier des terres (Hamamouche et al., 2015).

Il faut noter que, les premières serres sont introduites à Biskra en 1970 après la mise en place d'une politique de concession pour les grands investisseurs.

L'accès à la propriété foncière agricole (1983) a permis l'acquisition des terres par des non agriculteurs suite aux facilités présentées par l'état. Elle permet d'encourager de nombreuses

créations, accordant des lots de 2 à 10 ha. Mais, il n'a pas toujours été possible de satisfaire les grandes attentes foncières aux Ziban (Othman, 2010)

À partir de 1988 notamment, des transferts d'infrastructures serres sont effectués vers les zones présahariennes et sahariennes. L'abri serre devient une véritable oasis des plus productives où les conditions climatiques: (luminosité, température et hygrométrie) sont favorables et servent par la même occasion de protection contre les vents desséchants fréquents dans ces régions (Rekibi, 2015).

La subvention étatique a commencé en 1988 suivie par le programme national de développement agricole (PNDA) en 2002. Ces programmes visent notamment la construction du territoire agricole et l'accroissement des productions et des rendements par la mise en valeur des terres à vocation agricole. La contribution financière de l'état a permis un boom remarquable de la plasticulture. A partir de laquelle, les agricultures dans la région de Biskra ont montré que l'investissement dans l'agriculture devient une source de richesse. En plus, le profit retiré est rapide et toujours plus important que dans le cas du palmier dattier et l'augmentation des intrants chimiques implique une augmentation de bénéfice.

### **1.2.3. Situation de l'agriculture dans la wilaya de Biskra**

Ce système agricole particulier couvre environ 185473 hectares comme superficie agricole utilisée, dont la plupart (29766 ha) sont consacrés au palmier dattier et aux céréales à 24201 ha (DSA, 2014). La surface irriguée est de l'ordre de 105920 ha

La wilaya est remarquable par deux entités géographiques bien distinguées Zab Ouest (Gharbi) caractérisé par la dominance du couple: palmier dattier – maraichage et Zab Est (Chergui) caractérisé par la dominance du couple: grandes cultures – Maraichage.

Actuellement, l'agriculture à Biskra est soumise à une économie de marché caractérisée par des fluctuations saisonnières et annuelles souvent liées aux disponibilités de la main d'œuvre, la répartition locale et nationale des spéculations et les variables climatiques et environnementales.



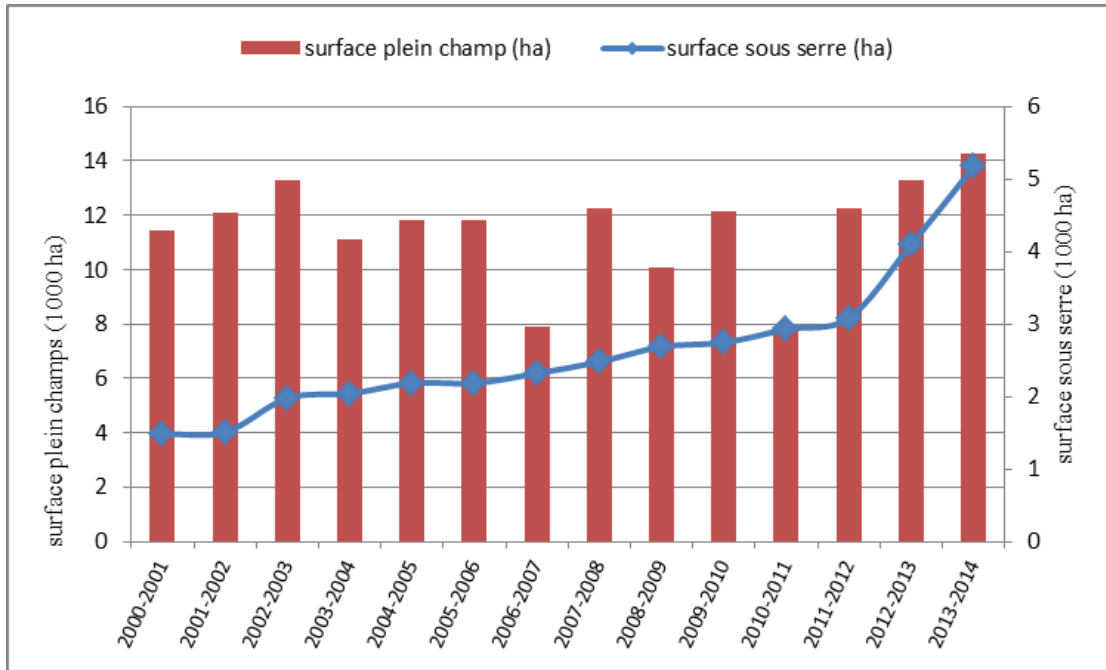
#### **1.2.4. Situation de la production végétale sous serre dans la wilaya de Biskra**

Biskra est une Wilaya de production des primeurs par excellence, les figures 02 et 03 illustrent l'évolution des surfaces et des productions des maraichages sous serre. La courbe des surfaces expose une tendance progressive au fil des années. Les superficies des serres ont été multipliées plus de trois fois de 1483,22 ha en 2001 à 5164,85 en 2014. Simultanément, l'augmentation des productions sous serre est considérable par rapport aux autres cultures. Elles ont été multipliées par 6. En 2001 elles étaient de 829062 Qx et en 2014 elles atteignent 5087068,59 Qx. La production s'élève en moyenne à 20% ce qui indique leur intégration forte dans la production nationale.

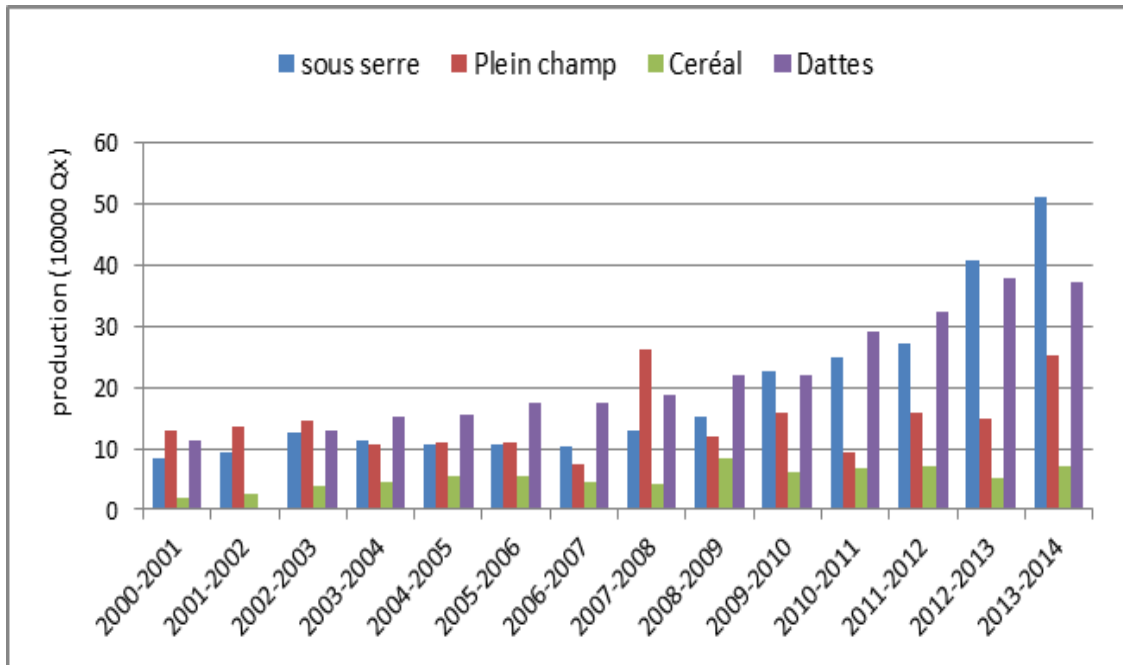
Par contre, les surfaces des légumes en plein champ dévoilent une stabilité temporelle. Les productions des palmiers dattiers présentent un développement intéressant par rapport à ses valeurs économiques, mais toujours viennent en deuxième position surtout à partir de l'année 2010.

Ce développement a permis d'autres activités, à savoir :

- la fabrication artisanal de matériel de forage a vu le jour, à partir du matériel déclassé par les entreprises pétrolières (Khiari, 2002) ;
- La production des plantules dans des pépinières spécialisées ;
- La création des coopératives spécialisées dans le travail du sol pour la location des matériels et des chauffeurs ;
- Le transport des récoltes vers les marchés.



**Figure 2 :** Evolution des surfaces de légumes en plein champ et sous serre (DSA, 2000-2014)



**Figure 3 :** évolution des productions agricoles (DSA, 2000-2014)

## **Conclusion**

Ces chiffres dévoilent les potentialités disponibles au regard d'un développement agricole très prometteur. Cependant, les contraintes sont relativement nombreuses; le recours aux eaux souterraines, la faible teneur en matière organique etc. Ce qui exige une gestion rationnelle pour la conservation et la préservation des ressources et pour monter en puissance une agriculture marquée par sa contribution à la multifonctionnalité et au respect des équilibres naturels en faveur d'une agriculture durable.

## **Chapitre II : la durabilité et l'agriculture durable : concepts et pratiques**

### **Introduction**

Aujourd'hui, le mot « développement » lorsqu'on le qualifie par « durable » prend un nouveau sens et est utilisé très fréquemment par les politiciens, les techniciens et les scientifiques (Pervachon et Blouet 2003). Le dictionnaire définit l'adjectif « durable » ainsi : « de nature à durer longtemps ». Ses synonymes sont « pérenne », « constant », « permanent », « stable ». Néanmoins, la traduction du terme anglais « sustainable » par durable en français, induit une mauvaise interprétation du concept. Car le vocable anglais signifie plutôt « qui peut être poursuivi sans causer de dommage à l'environnement et en étant socialement acceptable » C'est pourquoi certains auteurs préfèrent parler de développement soutenable (Gullaumin et al, 2009).

### **1. Définitions**

#### **1.1.Durabilité :**

Depuis l'introduction de la notion de « développement durable » par le « rapport Brundtland » à la fin des années 1980 (Commission mondiale sur l'environnement et le développement : CMED, 1987) ; la définition du terme « durabilité » est devenue un principal défi pour la recherche et la politique agricole. En conséquence, de nombreux auteurs tentent de définir la durabilité. Cependant, la « durabilité » reste un terme vague, ambigu et insaisissable, et jusqu'à présent, il n'y a pas de définition standard et communément acceptée (Murua et Laajimi, 1995). Ces dernières années la notion de durabilité admet plusieurs définitions ; due à son applicabilité dans plusieurs disciplines. En l'absence de définitions précises, une multiplicité d'approches est apparue, complémentaire ou parfois contradictoires (Pervachon et Blouet, 2003).

Quelques auteurs définissent la durabilité comme étant le fait d'assurer le futur des générations, pour avoir l'opportunité de générer les biens et les services nécessaires pour accomplir leurs objectifs.

La durabilité caractère de ce qui est durable, le terme durabilité (ou soutenabilité) est utilisé pour indiquer la configuration de la société humaine qui lui permette d'assurer sa pérennité. Cette organisation humaine repose sur le maintien d'un environnement vivable, sur le développement

économique à l'échelle planétaire, et, selon les points de vue, sur une organisation sociale équitable. La période de transition vers la durabilité se fait par le développement durable (Aboudrare, 2009).

## **1.2.Développement durable (DD) :**

D'après le rapport de Brundtland **CMED, 1987** *le développement durable est un développement qui répond aux besoins de la présente génération sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins*. En effet, cette définition offre beaucoup d'interprétation, ce qui explique pourquoi de nombreuses pages ont été écrites sur elle et presque autant de clarifier les définitions ont été proposées à la place de celle donnée ci-dessus. Selon Terrier et al., (2010) définir ce qu'est le développement durable implique de préciser des objectifs et des normes pour l'action qui soient partagés par tous. Il est en réalité une déclaration de foi que nous pouvons vivre dans une sorte d'équilibre avec notre environnement (Calow, 1998). D'autre part, Aboudrare (2009) saisit deux concepts de cette définition : les besoins et les limitations à répondre à ces besoins. Ce qui donne l'impression que cette notion comprend une projection dans le futur (OCDE, 2001).

### **1.2.1. Historique :**

Selon Aboudrare (2009) l'émergence du concept de développement durable a été longue. Il prend naissance en s'appuyant sur de nombreux engagements internationaux, l'idée d'un développement pouvant à la fois réduire les inégalités sociales et réduire la pression sur l'environnement a fait son chemin. Nous pouvons en retracer quelques jalons majeurs :

- **1968** : Création du Club de Rome regroupant quelques personnalités souhaitant que la recherche s'empare du problème de l'évolution du monde pris dans sa globalité pour tenter de cerner les limites de la croissance économique.

- **1972** : Le Club de Rome publie le rapport *The limits to growth* (traduit en français par *Halte à la croissance ?* ou *Les limites de la croissance*), rédigé à sa demande par une équipe de chercheurs du Massachusetts Institute of Technology. Ce premier rapport donne les résultats de simulations informatiques sur l'évolution de la population humaine en fonction de l'exploitation des ressources naturelles, avec des projections jusqu'en 2100. Il en ressort que la poursuite de la

croissance économique entraînera au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle, une chute brutale des populations à cause de la pollution, de l'appauvrissement des sols cultivables et de la raréfaction des énergies fossiles. Le modèle n'est cependant pas encore à ce stade sectorisé par régions comme il le sera ensuite et ses prévisions se sont révélées fausses.

- **1972** (5 au 16 juin) : Une conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm expose notamment l'écodéveloppement, les interactions entre écologie et économie, le développement des pays du Sud et du Nord. Il sera rétrospectivement qualifié de premier Sommet de la Terre. C'est un échec relatif, avec aucun compromis clair, mais la problématique semble dès lors posée : l'environnement apparaît comme un patrimoine mondial essentiel à transmettre aux générations futures.

- **1979** : Le philosophe Hans Jonas exprime cette préoccupation dans son livre *Le Principe responsabilité*.

- **1980** : L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature publie un rapport intitulé « *La stratégie mondiale pour la conservation* » où apparaît pour la première fois la notion de « développement durable », traduite de l'anglais « *sustainable development* ».

- **1987** : Le protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone est signé le 16 septembre, signe qu'un engagement collectif est possible.

- **1992** (3 au 14 juin) : Deuxième sommet de la Terre, à Rio de Janeiro. Consécration du terme "développement durable", le concept commence à être largement médiatisé devant le grand public. Ce sommet aboutit à un certain nombre d'accords, dont l'un était la « Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement » qui énonce 27 principes pour le développement durable. Pour appuyer cette déclaration générale le sommet a adopté l'Agenda 21. Il contient 40 chapitres de recommandations détaillées visant tous les principaux acteurs : les organismes internationaux ; les gouvernements locaux et nationaux ; et les organisations non-gouvernementales (ONG). La définition Brundtland, axée prioritairement sur la préservation de l'environnement et la consommation prudente des ressources naturelles non renouvelables, sera modifiée par la définition des « trois piliers » qui doivent être conciliés dans une perspective de développement durable : le *progrès économique*, la *justice sociale*, et la *préservation de l'environnement*.

- **1994** : publication de la charte d'Aalborg sur les villes durables, au niveau européen.
  - **1997** (1er au 12 décembre) : 3<sup>ème</sup> Conférence des nations unies sur les changements climatiques, à Kyoto, au cours de laquelle sera établi le protocole éponyme. En plus, un examen quinquennal des progrès de l'application de l'agenda 21.
  - **2002** (26 août au 4 septembre) : Sommet de Johannesburg : plus de cent chefs d'état, plusieurs dizaines de milliers de représentants gouvernementaux et d'ONG ratifient un traité prenant position sur la conservation des ressources naturelles et de la biodiversité.
- Décision UE/2020 : -20% énergie et gaz à effet de serre (GES), +20% efficacité énergétique.
- **2005** : Entrée en vigueur du protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'Union Européenne (Aboudrare, 2009).

### **1.2.2. Les trois piliers du développement durable :**

La notion de « DD » repose sur le trépied : économique, social et environnemental :

- a) **Viabilité économique** : définit la contribution au développement économique (emploi, revenu, ...). En effet la pérennité d'un système de production dépend d'abord de sa viabilité économique (Ghozlane et al., 2010a).
- b) **Equité sociale** : tous accèdent à leurs besoins fondamentaux d'une façon équitable.
- c) **Durabilité écologique** : a été définie comme le maintien de l'écosystème global ou des ressources naturelles. La dimension écologique est la base de la durabilité, puisqu'elle est une condition préalable aux dimensions économique et sociale (Van der Werf et Petit, 2002).

## **2. Agriculture durable**

### **2.1.Définition**

La durabilité de l'agriculture est essentielle vu son importance dans la qualité et la sécurité de l'alimentation et la sensibilité des ressources naturelles à son impact. Comme le concept du DD, plusieurs définitions ont été proposées en se basant sur le rapport de Brundtland.

L'agriculture est considérée durable lorsqu'elle ne produit aucun impact négatif sur les facteurs de production et l'environnement. Dans ce sens Calow, (1998) considère que l'agriculture durable est une méthode d'agriculture qui ne va pas impliquer des dommages à la ferme en tant qu'écosystème et/ou aux écosystèmes environnants. Donc, elle est économiquement viable, socialement équitable et écologiquement saine.

Pour l'Organisation de coopération et de développement économique OCDE, (1993), (in Bonny, 1994) une agriculture durable comporte quatre éléments :

- Un système de production viable au plan économique en son état actuel ;
- La préservation et la valorisation des ressources naturelles de base de l'exploitation agricole ;
- La préservation ou la valorisation d'autres écosystèmes affectés par les activités agricoles ;
- La création d'un cadre naturel agréable et de qualités éthiques.

Murua et Laajimi, (1995) définissent l'agriculture durable comme celle qui garantit la capacité de produire les aliments et d'autres produits agricoles d'une manière continue et rentable sans endommager les ressources naturelles et la qualité de l'environnement.

Godard et Hubert (2002) *in* Gafsi (2006) proposent de définir l'agriculture durable par deux composantes :

- La capacité de produire, en entretenant les ressources naturelles et le capital humain ;
- L'insertion de l'exploitation dans l'économie locale en offrant des services de proximité ;
- le maintien et la création de l'emploi, la production des services environnementaux, etc.

A partir desquelles Gafsi (2006) développe un modèle de l'agriculture durable basé sur le renouvellement et l'accumulation des stocks de capitaux.

Enfin Bonny, (1994) conclut que l'agriculture durable sera donc une agriculture qui peut préserver l'intégrité des moyens de production (sol, eau, etc.) tout en conservant la rentabilité de l'agriculture et en répondant aux besoins humains.

## **2.2. Transition vers une agriculture durable**

Pour Baroud, (2015) l'intensification peut se baser sur différentes formes : acquisition de matériels, construction de bâtiments, utilisation accrue d'intrants, réalisation d'aménagements, la



mécanisation ou la motorisation et l'utilisation de variétés améliorées, l'utilisation de grande quantités d'eau pour l'irrigation, d'engrais, de produits phytosanitaires, de semences améliorées.

Le monde ne peut faire face à l'évolution de la demande alimentaire sans la modernisation des modes de production et l'adoption des politiques qui permettent une gestion durable des ressources naturelles. Donc, il est inévitable que l'intensification de l'utilisation de l'énergie et les intrants chimiques doivent connaître des changements (Griffon, 2007).

D'après Landais (1997) pour concrétiser cette transition les chercheurs se heurtent à trois difficultés principales :

- 1) la dimension éthique du développement durable diffère de l'approche scientifique classique ;
- 2) la durabilité intègre les connaissances issues des diverses disciplines ;
- 3) la globalisation des échelles de temps et d'espace.

Boulard (2008) signale que l'agro système serre dispose d'atouts remarquables que sont le contrôle du milieu et des transferts. C'est un des rares systèmes de culture où la durabilité peut coïncider avec un renforcement de son intensification. Néanmoins, il remet en question l'aptitude de l'agro système serre dans la concrétisation de la notion d'agriculture durable de plusieurs point de vue :

- Environnement et santé humaine ;
- Cout de l'énergie et de la main d'œuvre ;
- Evolution des superficies en serres ;
- Le changement global de climat.

Griffon (2007) cite trois causes principales pour maintenir une agriculture durable : réduction de la concurrence sur l'énergie fossile qui est l'origine des carburants utilisés durant le labour, gain économique vu le coût élevé des engrais, sauvegarde de la santé humaine, des risques potentiels liés aux pesticides. Rezaei-Moghaddam et Karami (2008) ont menés une comparaison des principaux enjeux du développement agricole basé sur les théories de modernisation écologique. Ils prouvent que la seule voie pour un développement durable est de négliger la modernisation et l'industrialisation en raison de leurs impacts négatifs dans ce secteur. Murua et Laajimi (1995) indiquent que l'agriculture conventionnelle révèle des limites en ce qui concerne l'utilisation des

ressources naturelles. Van der Werf et Petit (2002) font remarquer que l'accroissement continu des quantités d'intrants pourrait endommager la qualité du capital naturel malgré l'augmentation des rendements.

### **2.3.Bases et principes de l'agriculture durable :**

Landais (1997) propose quatre classes des relations qui assurent la durabilité des exploitations. Il prend en considération les liens économiques, sociaux, écologiques et intergénérationnels; qui vont rendre l'agriculture viable, vivable, reproductible et transmissible, respectivement.

2.3.1. La viabilité : implique, en terme économique, l'efficacité du système de production et la sécurisation des sources de revenus du système de production agricole, face aux aléas du marché et aux incertitudes qui pèsent sur les aides directes. Cependant, Crews et al., (1991) proposent que la rentabilité économique ne soit pas considérée comme une condition nécessaire à la durabilité agricole, mais plutôt un indicateur de l'étendue dans laquelle une société opère dans des contraintes écologiques critiques.

2.3.2. La vivabilité : s'attache à analyser si l'activité agricole assure une vie professionnelle et personnelle décente à l'exploitant et à sa famille

2.3.3. La reproductibilité : caractérise les impacts sur les milieux des activités agricoles.

2.3.4. La transmissibilité : comprend deux axes ; la transmissibilité humaine pour un successeur et la transmissibilité financière (rendement acceptable).

### **2.4.Formes de l'agriculture durable :**

Ces dernières années la voie est largement ouverte pour le développement de différentes approches visant à réconcilier agriculture et environnement, à conformer l'agriculture avec les objectifs de DD (Féret et Douguet, 2001 ; Bonny 2011). Plusieurs solutions ont été proposées pour perdurer les systèmes de production intensive et des recherches sont en cours pour évaluer d'autres systèmes.

#### **2.4.1. Agriculture écologiquement intensive (AEI) :**

L'expression a vu le jour lors du Grenelle de l'Environnement en 2007 ; où il apparaît possible d'obtenir des rendements comparables à ceux de l'agriculture conventionnelle tout en réduisant le recours aux intrants chimiques et la dégradation de l'environnement. Antérieurement, Cassman (1999) a proposé le terme « intensification écologique ». L'intensification écologique s'intéresse à l'obtention de rendements plus élevés avec des pratiques culturales qui protègent la qualité des sols et de l'eau (Cassman 1999). Dans le même esprit, Griffon, (2013) propose que l'AEI soit basée sur la biodiversité ; elle permet de réduire la consommation des intrants chimiques et d'énergie, notamment en conséquence de l'augmentation de la fertilité. La FAO dans son glossaire de l'agriculture biologique (2009) a défini l'intensification durable comme étant «*la maximisation de la production par unité de surface sans compromettre l'aptitude du système à maintenir sa propre capacité de production* ». Ce qui conduit Bonny, (2011) à retenir que l'agriculture écologiquement intensive est une agriculture qui utilise davantage de facteurs de production par unité de surface. En plus, il présente une comparaison de quelques voies et moyens de l'agriculture conventionnelle et de l'agriculture écologiquement intensive. En fin, Firbank et al., 2013 ont constaté que l'intensification durable est l'augmentation de la production sans aucune augmentation des dommages environnementaux.

#### **2.4.2. Agro écologie**

L'agro écologie, est définie comme l'application de concepts et principes écologiques pour la conception et la gestion de l'agro écosystème, ce dernier est à la fois productif et conserve les ressources naturelles et qui est aussi culturellement sensible, socialement juste et économiquement viable. L'agro écologie fournit un cadre pour évaluer la complexité des agro écosystèmes (Altieri, 1995).

#### **2.4.3. Agriculture biologique (organique) :**

Au fil des ans, il est devenu courant de comprendre et de définir l'agriculture biologique comme l'agriculture sans pesticides synthétiques, engrais conventionnels ou organismes génétiquement modifiés (OGM). Selon Kuepper et Gegner, (2004), c'est un système de gestion de la production qui promeut et améliore la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique des sols. Il

repose sur une utilisation minimale des intrants hors ferme et sur des pratiques de gestion qui rétablissent, maintiennent et améliorent l'harmonie écologique. L'agriculture biologique a des avantages potentiels par rapport à l'agriculture conventionnelle, elle permet de favoriser la formation de la structure du sol, améliorer la biodiversité des sols, protéger l'environnement, améliorer la qualité des sols, la qualité et la sécurité sanitaire des aliments, et d'assurer un prix élevé.

#### **2.4.4. Agriculture à faible niveau d'intrants et de la lutte antiparasitaire intégrée (IPM)**

Dans le cas de l'agriculture à faibles niveaux d'intrants, les pesticides synthétiques et les engrais ne sont pas appliqués pour des raisons réglementaires ou socio-économiques, la variation génétique est le principal mécanisme pour amortir les fluctuations environnementales et maintenir des traits importants comme la stabilité du rendement, la résistance aux agents pathogènes et l'adaptation au sol à faible fertilité (Murphy et al., 2005).

#### **2.4.5. Eco agriculture**

L'éco agriculture visant à améliorer la gestion des terres et des ressources naturelles a pour objectifs de : (a) conserver l'ensemble de la biodiversité indigène et de services éco systémiques, (b) fournir des produits et des services agricoles sur une base durable, et (c) soutenir des moyens de subsistance viables pour les populations locales. Le concept définit une approche pour la gestion des zones naturelles et des paysages agricoles de manière complémentaire. (Buck et al., 2006).

#### **2.4.6. Agriculture pérenne à base de vivaces (*Perennial-based agriculture*)**

Les cultures pérennes permettraient de résoudre de nombreux problèmes agricoles, y compris l'érosion des sols, la perte de nutriments et la contamination par les pesticides (DeHaan et al., 2005). Le développement des polycultures vivaces comprend une approche prometteuse pour améliorer la synchronisation entre les besoins en nutriments des cultures et les approvisionnements en éléments nutritifs tout en maintenant des rendements relativement élevés avec moins de nutriments (Crews, 2005).

#### **2.4.7. Permaculture :**

Le mot «permaculture» a été inventé en 1978 par Bill Mollison, un écologiste australien, C'est une contraction de «l'agriculture permanente» ou de «culture permanente». La permaculture est la conception consciente et le maintien des écosystèmes agricoles productifs qui ont la diversité, la stabilité et la résilience des écosystèmes naturels (Mollison in Ferguson et Lovell, 2014).

Selon the *National Sustainable Agriculture Information Service (USA)*, (2004). La permaculture consiste à concevoir des habitats écologiques humains et des systèmes de production alimentaire. Il s'agit d'un mouvement d'utilisation des terres et de construction communautaire qui vise l'intégration harmonieuse des habitations humaines, du microclimat, des plantes annuelles et vivaces, des animaux, des sols et de l'eau dans des communautés stables et productives. L'accent n'est pas mis sur ces éléments eux-mêmes, mais plutôt sur les relations créées entre eux par la façon dont nous les plaçons dans le paysage. L'encyclopédie de l'éthique alimentaire et agricole (2014) la définit comme étant un système de conception dont l'objectif est la génération et le maintien de cultures permanentes.

#### **2.4.8. Agriculture de conservation**

L'agriculture de conservation est un ensemble de technologies, incluant la perturbation minimale des sols, la couverture permanente des sols, les rotations de cultures diversifiées et la gestion intégrée des mauvaises herbes tout en maintenant la production agricole ; avec pour objectifs de réduire de nombreux effets négatifs des pratiques agricoles conventionnelles telles que l'érosion des sols, la matière organique du sol, la perte d'eau, la dégradation physique du sol et la consommation de carburant (Farooq et Siddique, 2002 ; Pittelkow et al., 2014).

#### **2.4.9. Agriculture raisonnée**

L'agriculture raisonnée (Proposée en 1993) est un système de production agricole dont l'objectif premier est d'optimiser le résultat économique en maîtrisant les quantités d'intrants, et notamment les substances chimiques utilisées (pesticides, engrais) dans le but de limiter leur impact sur l'environnement. Les apports d'intrants sont ajustés en fonction des besoins de la culture, en excluant toutes considérations d'ordre sociale ou éthique (Féret et Douguet, 2001). Cette démarche est exclusive à la France. Elle est réglementée par le ministère de l'Agriculture et

de l'Ecologie et par le FARRE (Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement).

#### **2.4.10. Agriculture de précision**

L'agriculture de Précision, est l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'agriculture en se basant sur des données spatiales (GPS, imagerie satellite, etc.) pour obtenir une gestion plus efficace des pratiques agricoles. Par exemple ; la cartographie des rendements, suivi de l'état des cultures et gestion des intrants utilisés. Ces différentes conceptions font entrer l'agriculture dans une nouvelle phase.

Une approche agricole de précision est nécessaire pour s'assurer que les ressources nécessaires à la croissance des cultures sont disponibles et que les besoins en protection des cultures sont satisfaits sans déficience ni excès à chaque moment de la période de croissance.

D'une façon générale, ces termes ont des significations très proches, en plus, ils présentent des complémentarités entre eux. La différence demeure dans leur mode d'application sur les exploitations agricoles. Bien qu'il existe d'autres concepts qui offre une base pour la réflexion sur la durabilité de l'agriculture.

#### **2.5.Pratiques agronomiques durable :**

Pour concrétiser une gestion durable des ressources, l'agriculture doit respecter des règles dans l'implantation et la conduite des cultures appelées bonnes pratiques agricoles (BPA) ou pratiques de conservation (PC). Car l'impact environnemental de l'agriculture dépend en grande partie des pratiques adoptées, parfois avec des effets dues à des relations indirectes (Van der Werf et Petit 2002). Les pratiques agricoles jouent un rôle primordial pour atteindre les objectifs de la durabilité de l'agro-système.

Calow, (1998) affirme que les pratiques agricoles durables, sont les activités agricoles qui :

- 1- Maintiennent et améliorent la qualité et la productivité du sol ;
- 2- Conservent le sol, l'eau, l'énergie, les ressources naturelles, la diversité des espèces, la diversité génétique et l'habitat faunique ;
- 3- Maintiennent et améliorent la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines ;

- 4- Protègent la santé et la sécurité des personnes impliquées directement dans l'agriculture ainsi que les consommateurs ;
- 5- Promeuvent le bien-être des animaux ;
- 6- Maintiennent la viabilité économique de l'agriculture.

Cela consiste à réduire, dans la mesure du possible, la perte de sol et de la dépendance sur les sources d'énergie non renouvelables et la réduction de la demande des engrais et des biocides qui contaminent l'air, le sol, l'eau et de l'habitat de la faune, en plus de nuire à des personnes et d'autres organismes non ciblés.

Des exemples de pratiques agricoles durables comprennent ; la lutte biologique contre les mauvaises herbes et les insectes nuisibles, les cultures intercalaires, la rotation des cultures, le travail minimal du sol, la fertilité azotée fourni par les légumineuses et/ou les fumiers organiques et le mélange de cultures-bétail, ... etc.

Le changement des pratiques requiert une acceptation au sein de la société accompagné d'un environnement en phase.

### **3. Méthodes d'évaluation de la durabilité de l'agriculture**

#### **3.1.Nécessité d'un diagnostic initial (pourquoi évaluer ?)**

Il s'agit de dresser un état des lieux sur la situation du système étudié, pour savoir quels sont les enjeux environnementaux qui présentent des problèmes et quels sont les points à améliorer, etc., mais aussi : les facteurs explicatifs, quelles sont les pratiques agricoles impliquées, les sous-parties du système impliquées (Ex : parcelles à risque), etc. Cette partie peut s'appuyer sur des études préalables, sur une expertise locale et doit être impérativement réalisée pour accorder les différents intervenants et bénéficiaires de l'évaluation et pour éviter les débats stériles et récurrents sur les responsabilités (ex : part des activités agricoles/activités non agricoles dans le déterminisme des impacts) Bockstaller et al., 2013.

Le système de production agricole avec ses différentes composantes sont accusés d'être des gros nuisibles de l'environnement. De ce fait, l'évaluation de l'impact des pratiques agricoles sur le développement durable est complexe. La mise en œuvre d'une agriculture durable à l'échelle de l'exploitation passe par l'élaboration d'un outil de diagnostic agri-environnement du système de

production pour la prise en compte de l'impact des activités humaines. Pour cela une démarche des méthodes d'évaluation agro-environnementale a été mise en place (ISO 14000 ; DIALECTE, ... etc.).

Selon Singh et al., (2009) et Singh et al., (2012), l'objectif de l'évaluation de la durabilité est d'aider les décideurs à court et à long terme de déterminer quelles mesures devraient ou non être prises.

### **3.2. Une multitude de méthodes d'évaluation**

Guillaumin et al, (2009) signalent la rareté des méthodes permettant d'évaluer de manière globale la durabilité agricole. Tandis que, au niveau de l'exploitation ou petite région agricole, (Rosnoblet in Guillaumin et al, 2009) ont recensé 150 méthodes à l'échelle mondiale.

Sydorovych et Wossink, (2008) ; Yegbemey et al., (2014) font état d'un grand nombre de tentatives d'auteurs pour évaluer la durabilité agricole. Ainsi, il existe, à l'échelle mondiale, une littérature riche et croissante sur les approches conceptuelles utilisées pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de production agricole:

- Von Wirén-Lehr, (2001) a évalué 7 concepts orientés sur l'objectif (*goal-oriented concepts*).
- Douze méthodes sélectionnées ont été examinées dans Van der Werf et Petit (2002).
- Zahm, (2003) présente une revue bibliographique de 17 méthodes de diagnostic agro-environnemental à base d'indicateurs à l'échelle d'exploitation agricole.
- Guillaumine et al, (2009) présentent quelques résultats des méthodes d'évaluation de la contribution des exploitations d'élevage au développement durable.
- Srouf et al., (2009) adapte la méthode des indicateurs de la durabilité des exploitations agricoles (IDEA ) pour le système d'élevage de petits ruminants au Liban.
- Binder et al. (2010) ont présenté une description de sept approches.
- Bockstaller et al., (2015) ont proposé à partir de la littérature un aperçu complet de six méthodes d'évaluation de la durabilité en agriculture en France.
- Sabiha et al., (2016) présentent une revue de 12 méthodes utilisées pour évaluer l'impact environnemental de l'agriculture.



**Tableau1** : différentes approches de l'évaluation de la durabilité.

	Approche	Référence
01	Analyse de décomposition	Ghisellinia et al., 2014
02	Comptabilité émergente	Pacini et al., 2003
03	Analyse hiérarchique multicritères	Gomez-Limon and Riesgo, 2009
04	Analyse conjointe	Sydorovych et Wossink 2008
05	EDAMA (méthode d'Evaluation de la Durabilité pour l'Accompagnement des Ménages Agricoles).	Terrier et al., 2010
06	Chaîne cause-effet	Bockstaller et al., 2008
07	MOTIFS: (MONitoring for Integrated Farm Sustainability).	Meul et al., 2008
08	Analyse multicritères	Verburg et al., 2014
09	Comptabilité émergente combiné avec l'Analyse de décomposition	Ghisellini et al., 2014
10	Force motrice - Pression - Etat - Impact - Réponse	Geng et al., 2014.
11	SAFE (évaluation de la durabilité de l'agriculture et de l'environnement)	Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez, 2010 ; Van Cauwenbergh et al., 2007
12	Analyse de l'enveloppement des données Méthodes multicritères de décision	Reig-Martinez et al., 2011
13	Approche participative	Hayati et al., 2011 ; Yegbemey et al., 2014
14	Force-Pression-État-Impact-Réponse	EEA, 1995
15	Pression-Etat-réponse	OCDE, 1993 ; Graymore et al., 2009; Zhou et al., 2013
16	Modèle intégré	Belcher et al, 2004
17	Méthode Delphi	Hai et al., 2013

Pour établir telle méthode les auteurs se basent sur l'implémentation des approches, surtout pour la pondération et l'agrégation des indicateurs, pour cela Nardo et al., 2008 ont présentés différents concepts. En conséquence, plusieurs techniques ont été utilisées pour l'élaboration des méthodes, le tableau 1 présente un aperçu de quelques approches. Bockstaller et al., (2008) identifient deux groupes d'approches qui se distinguent par leur concept de durabilité: (i) l'approche axée sur les buts, basée sur un ensemble de thèmes et d'objectifs traitant des questions abiotiques (air, sol, eau) et biotiques (espèces, écosystèmes), composants, fonctions ou impacts; et (ii) l'approche orientée sur les propriétés systémiques, par ex. adaptabilité, sécurité.

La pondération et l'agrégation des indicateurs constituent des aspects très sensibles des méthodes ; ce qui va conduire à une compensation entre les critères d'évaluation des différents piliers ; en effet, l'existence de compensation entre les trois échelles est à l'opposé du principe de l'agriculture durable (Fortun-Lamothe, 2008). Dans ce contexte, quelques auteurs considèrent que les indicateurs ont le même poids dans la contribution à la durabilité totale (Kwatra et al., 2015). Par contre, les poids des indicateurs ont été prédéterminés dans le cas de la méthode IDEA.

Récemment, des systèmes experts ont utilisés pour la conception des modèles basés sur la logique floue pour la pondération des indicateurs composés (Azadi et al., 2009 ; Andriantiatsaholiniaina et al., 2004 ; Prato, 2007 ; Rajaramet Das, 2010).

Certaines méthodes prennent en considération les trois dimensions de la durabilité par exemple IDEA : indicateur de la durabilité des exploitations agricoles (Vilain, 1999), tandis que, d'autre méthodes considèrent deux dimensions, environnementales et économiques c'est le cas de DCE : durabilité des cultures énergétiques (Biewinga et Van der Bijl, 1996), enfin, des méthodes ne tiennent compte que d'une seule dimension (généralement le côté écologique), un nombre très important se trouve dans cette catégorie, par exemple, IDA : l'indice de durabilité de l'agriculture (Taylor et al., 1993). Chaque méthode fixe un objectif pour exprimer l'impact des pratiques.

Certains travaux ont été accomplis pour critiquer et analyser ces méthodes et outils d'évaluation de la durabilité des systèmes de production agricole (Barbier et Lopez-Ridaura, 2010 ; Terrier et al., 2010). Il convient de noter que la majorité des méthodes agréent une évaluation ex post des systèmes agricoles ; Néanmoins, les méthodes d'évaluation ex ante sont préférables et plus

adaptées aux exigences pour la planification d'une agriculture durable. Pour cela, (Sadok et al., 2007 ; Gerber et al., 2009 ; Craheix et al., 2012) ont proposé un modèle d'évaluation ex ante de la durabilité agro-écologique.

### **3.3.Au niveau Algérien :**

L'évaluation de la durabilité dans l'Algérie est encore modeste et dans ses débuts. Tous les travaux enregistrés ont exclusivement essayés d'évaluer la durabilité dans le système de la production animale, on cite à titre d'exemple : Ghozlane et al., 2010a ; Ghozlane et al., 2010b ; Yakhlef et al., 2005 ; Belmessaoud, 2011 ; Benidir, 2015 ; Bir, 2015. Il faut signaler que ces travaux sont basés sur l'adaptation de la méthode (IDEA) pour la construction des indicateurs. Mais, à notre connaissance, le système de production sous serre dans la région de Biskra n'est pas encore considéré par des études sur l'évaluation de la durabilité.

### **3.4.Détermination des utilisateurs ciblés :**

Cela peut être des décideurs de l'état, de collectivités ou des gestionnaires, des agronomes de la recherche et du développement ou des conseillers travaillant directement avec les agriculteurs, voire des agriculteurs ou groupes d'agriculteurs, et d'autres acteurs (protection de la nature, associations de consommateurs) (Bockstaller et al., 2013).

Dans ce cadre (Bockstaller et al., 2013) ont identifié six finalités, issues de l'étude des usages d'un panel de méthodes d'évaluation :

- acquérir des références sur des systèmes de production ;
- conseiller et accompagner le changement ;
- faire des simulations de changement de pratiques ;
- suivre les pratiques agricoles (tableau de bord) ;
- réaliser un management environnemental (en vue d'une certification ISO 14001) ;
- vérifier la conformité vis-à-vis de la réglementation.

### 3.5.Choix des indicateurs

L'évaluation de la durabilité renforce la demande d'indicateur. De telles méthodes utilisent en général un jeu d'indicateurs comme critères pour quantifier le degré auquel la durabilité est atteinte (Van der Werf et Petit 2002). La définition d'«indicateur» diffère d'un article à un autre. Gallopin (1996) indique que l'indicateur dérive du verbe latin *indicare*, dont les significations comprennent: indiquer, annoncer, donner avis, déterminer et estimer. Rametsteiner et al., (2011) ont cité que les indicateurs ont été définis comme un moyen de «réduire une grande quantité de données à sa forme la plus simple, en conservant un sens essentiel pour les questions qui sont posées». D'après (Gras et al., 1989 *in* Van der Werf et Petit 2002) le terme « indicateur » a été défini comme : une variable qui fournit des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès et qui peut être utilisée comme repère pour prendre une décision. En outre, Bockstaller et al., (1997) et Bockstaller et al., (2015) révèlent que les indicateurs peuvent être utilisés comme une alternative à la mesure directe. Les indicateurs permettent de comparer des exploitations entre elles ou des systèmes entre eux et sont un élément intéressant de suivi de politiques environnementales (Zahm, 2003). En conséquence, le choix des indicateurs est une étape indispensable dans l'évaluation de la durabilité (Roy et Chan, 2012; Van der Werf et Petit, 2002).

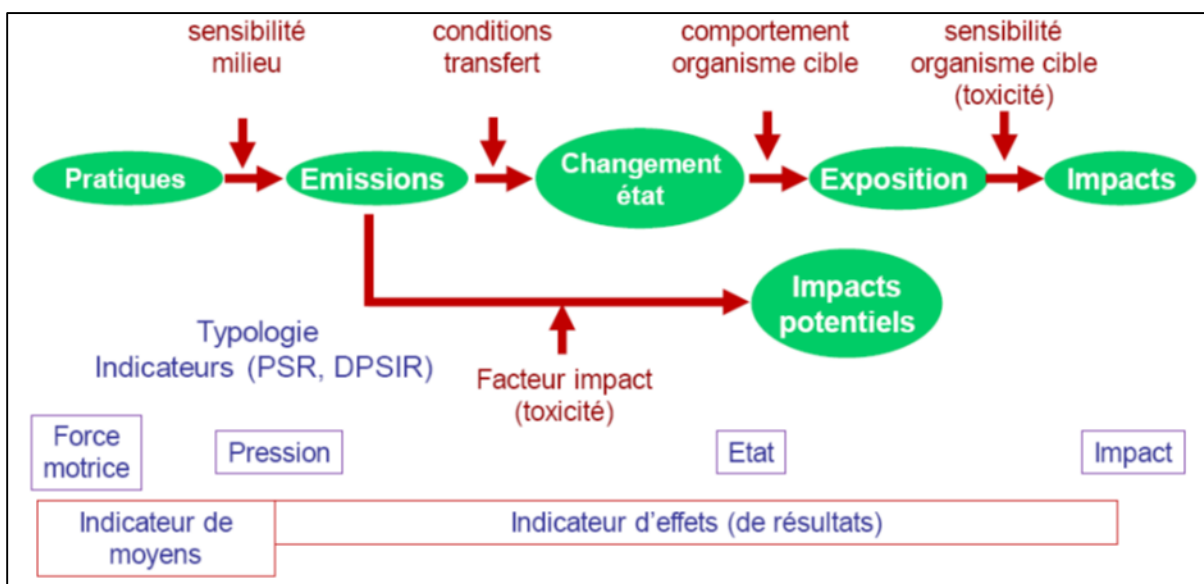
Les indicateurs de durabilité devraient remplir certaines conditions communes telles que la pertinence pour le système, la sensibilité aux changements, la cohérence avec les données, la compréhensibilité pour les utilisateurs, la mesure sur terrain, la disponibilité et la transformation appropriée à partir des données (Geng et al, 2014; Von Wirén-Lehr, 2001; Zhou et al, 2013). En outre, les indicateurs pourraient fournir des informations sur l'état d'un système (Roy et Chan, 2012). En plus, décrire également l'évolution du système d'intérêt d'une manière à la fois accessible et compréhensible pour les décideurs et les utilisateurs visés (Gallopin, 1996). Enfin, les indicateurs devraient être capables de couvrir le système et devraient être minimisés en nombre (Qiu et al, 2007). Un indicateur est validé si d'une part il est scientifiquement fondé, et si d'autre part il répond aux objectifs pour lesquels il a été créé (Zahm et al., 2004).

Plusieurs typologies (figure 4) sont utilisées couramment au niveau national et international pour le choix des indicateurs. Selon Van der Werf et Petit (2002), les indicateurs d'impact environnemental (*indicateurs de pression polluante*) peuvent être basés soit sur les pratiques de l'agriculture (basé sur les moyens), soit sur les effets de ces pratiques ou sur l'état du système

(basé sur les effets) ou (*indicateurs d'état*). Par ailleurs, d'autres indicateurs peuvent être basés sur des modèles. En outre, Girardin et al., (1999) distinguent des indicateurs dits simples, et des indicateurs dits composites, obtenus par l'agrégation de plusieurs variables. Cependant, le défaut principal de ces derniers est qu'ils ne conviennent pas pour guider des changements. Les indicateurs basés sur les moyens sont souvent préférés puisque leur mise en œuvre est plus simple. Récemment, plusieurs indicateurs se sont développés à l'échelle mondiale pour disposer d'outils et de méthodes d'évaluation environnementale des modes de production agricole. Donc, Gafsi (2006) a décliné des indicateurs de pratiques agricoles en se basant sur l'approche basée sur les ressources (*resources-based view*).

Il reste difficile de mesurer et de hiérarchiser les risques liés à certaines pratiques agricoles sur l'environnement car il n'est pas toujours aisé d'obtenir des données chiffrées individuelles (Zahm, 2003).

La littérature sur les indicateurs est incommensurable et chaque année de nouveaux articles sont publiés visant à fournir de nouveaux indicateurs pour aider les agronomes et les parties prenantes. Bien qu'il n'y a pas d'accord entre les auteurs sur le nombre d'indicateurs sélectionnés (tableau 2).



**Figure 4:** Typologie des indicateurs en fonction des modalités d'obtention des valeurs et de leurs atouts et limites (Bockstaller et al., 2013).

Les indicateurs utilisés peuvent couvrir l'ensemble des données allant des données brutes aux indicateurs composites (Diazabakana et al., 2014).

D'après (Vidal et al., 2002 *in* Zahm et al., 2004) le développement durable appliqué à l'agriculture amène à établir des indicateurs combinant les trois dimensions suivantes :

- **systemique** : il s'agit d'appréhender simultanément les aspects économiques, environnementaux et sociaux de l'agriculture,
- **temporelle et spatiale** : il s'agit d'évaluer des effets susceptibles de se manifester dans la durée et dans l'espace, un système apparemment équilibré pouvant générer des déséquilibres à terme ou localement,
- **éthique** : la durabilité se fonde sur un système de valeurs, comme la nécessité de la conservation du patrimoine naturel et humain ou du moins son usage le plus économe possible

**Tableau2** : nombre des indicateurs sélectionnés et dimension de la durabilité

Références	Dimension de la durabilité	Nombre d'indicateurs
Sabiha et al., 2016	Variables d'impact.	17
Bockstaller et al., 2015	Ecologique	24
Bockstaller et al., 1997	agro-écologique	7
Yegbemey et al., 2014	économique, social, environnemental	17
Praneetvatakul et al., 2001	économique, social, environnemental	9
Geng et al., 2014	naturel, technologique, socio-économique, écologique	25
Hai et al., 2013	écologiques, économiques et sociales	69
Rasul et Thapa, 2004	écologiques, économiques et sociales	12
Dahl, 2012	Planétaire	20-50

Diazabakana et al., 2014 attestent que l'approche analyse de cycle de la vie (ACL) offre plus qu'une simple liste d'indicateurs. Elle peut être considérée comme un cadre méthodologique fondé sur une définition rigoureuse du système qui traite non seulement des impacts directs dus au processus de production, mais aussi des impacts indirects liés à la production d'intrants dans le cycle en amont et des impacts dus à la consommation, Gestion dans le cycle aval

La construction des indicateurs de la durabilité comprend plusieurs étapes; Nardo et al., 2008 ont souligné des étapes dans la construction d'indicateurs composites comme suit:

- Cadre théorique et imputation des données manquantes ;
- **Analyse multi variée** : peut être effectuée par une analyse factorielle, une analyse en composante principale ou une analyse de classification.
- **Normalisation** : plusieurs méthodes existent à savoir ; z-scores, Min-Max, distance à une référence et l'indicateur supérieurs ou inférieurs à la moyenne
- **Pondération** : parmi les approches utilisées on peut citer ; Analyse d'enveloppement des données, le bénéfice du doute, le processus d'affectation du budget, analyse conjointe et méthode de hiérarchie multicritère.
- **Agrégation** : les méthodes additive et géométrique sont les plus employées.
- **Analyse de robustesse et de sensibilité.**

Yegbemey et al., (2014) ont établi un nouveau cadre en utilisant une approche participative en quatre étapes: (1) discussions de groupe avec les parties prenantes, (2) un questionnaire d'enquête, (3) une enquête auprès des ménages et (4) une estimation du niveau de durabilité. Bockstaller et al., (2008) indiquent la possibilité d'utiliser des modèles pour concevoir ou dériver des indicateurs mais cette option présente un inconvénient en raison de la complexité de nombreux modèles. Au stade de l'agrégation, tous les indicateurs sélectionnés doivent avoir des valeurs unitaires communes (Juwana et al., 2012), Pour les comparer avec les valeurs de référence (Praneetvatakul et al., 2001).

## **Conclusion**

Après 30 ans depuis sa mise en œuvre, la notion de la durabilité n'a pas eu un consensus dans la communauté scientifique, du point de vue définition, évaluation et application dans différentes disciplines (surtout pour l'agriculture dans les régions arides).

Plusieurs études ont été prises en considération dans la sélection des indicateurs dans les régions arides comme Andrieu et al. 2007; Qirui et al. 2016. Néanmoins, aucun travail antérieur n'a étudié la durabilité agricole dans la région de Biskra (sud-est de l'Algérie). En conséquence, il est nécessaire de mettre les premières tentatives d'un cadre méthodologique qui permette d'estimer les performances des pratiques culturelles sous serre dans la région de Biskra.

La gestion durable des ressources naturelles est devenue un défi sérieux pour l'Algérie. Dans ce cadre, la présente étude vise à concevoir et analyser un indice de durabilité agricole (IDA) au niveau de l'exploitation de 85 producteurs serristes à Biskra pour une évaluation comparative de la durabilité de ce système en tenant compte des dimensions environnementales, économiques et sociales.



# **Partie**

# **expérimentale**

## **Chapitre III : Description des pratiques culturales et de la gestion des serres**

### **Introduction**

Vu les revenus induits par le système de cultures protégées, les agriculteurs ont été convaincus que l'augmentation des bénéfices nécessite la mise en œuvre de pratiques agricoles intensives basées sur des semences améliorées, des doses élevées d'intrants chimiques, une irrigation abondante et des engins lourds en dépit des dommages survenus dans certaines dimensions sociales et environnementales. Récemment, on s'est intéressés à la relation entre la performance du système de cultures en place et les pratiques des agriculteurs pour évaluer les pratiques agricoles dans le système de production protégé à Biskra. Les auteurs ne s'entendent pas sur les pratiques qui constituent une agriculture durable (D'Souza 1993). Mais les littératures révèlent que la plupart des pratiques agricoles durables utilisées ont été trouvés pour :i) fournir une nutrition équilibrée des plantes et augmenter la résistance aux maladies (Dordas 2008); ii) Améliorer la sécurité des produits frais et de leur valeur (Estrada-Acosta et al., 2014); iii) Augmenter le revenu net des cultures et le bien-être des ménages ruraux (Gebremariam et Wünsch 2016). Bien que les pratiques agricoles intensives soient souvent associées à des impacts majeurs sur les systèmes environnementaux en augmentant la pollution de l'eau et de l'air, la dégradation des sols ou la perte de biodiversité. De ce point de vue, plusieurs listes de vérification sur les bonnes pratiques agricoles (BPA) ont été élaborées pour que les fermes respectent les exigences de certification; Par exemple, le Département américain de l'Agriculture (USDA) (Chapman et al., 2013); GLOBALG.A.P dans plus de 110 pays (GLOBAL GAP 2011) et (Food and Drug Administration 1998). Par conséquent, l'évaluation de la performance agricole, y compris les pratiques et la gestion, sont des enjeux clés pour l'agriculture durable (Dusseux et al., 2014).

### **1. Méthodologie :**

#### **1.1.Objectif :**

L'objectif principal de l'étude est l'appréciation de l'état de la durabilité des systèmes de cultures en maraîchage sous serre par la détermination des indicateurs correspondants à la région étudiée ; en plus, une typologie des exploitations étudiées dans la région de Biskra.

## **1.1. Conception et mise en place d'enquête**

### **1.1.1. Pré-enquête : mai et juin 2014**

En vue de l'élaboration d'un questionnaire sur les pratiques culturelles adoptées par les agriculteurs ; il a été convenu de réaliser une pré-enquête. Une grille de sélection des exploitations à enquêter est proposée (annexe 1). L'Enquête préliminaire a été élaborée avec les acteurs locaux suivants:

- Organisations impliquées dans la gestion de l'agriculture (DSA, ABH, ANRH, ITDAS, ... ) ;
- Secteur privé : commerçants des produits de production agricole ;
- Agents technico-commerciaux;
- Agriculteurs.

### **1.1.2. Critères de choix des exploitations**

On va s'intéresser à des exploitations qui représentent les différents critères qui caractérisent la région :

- a) Critères physiques (sol, nappes) ;
- b) Critères sociologiques (ancienneté dans la plasticulture, origine géographique, réceptivité aux enquêteurs, mode d'exploitation) ;
- c) Critères liés au système de culture (SAT, SAU, type de serres, cultures pratiquées et systèmes d'irrigation)

### **1.1.3. Enquête proprement dite : saison 2014-2015**

Mise en forme du cahier d'enregistrement, (annexe 2), concernant la description des pratiques et des itinéraires culturels sous serre, comme suit:

- *Présentation de l'exploitation* (SAT, SAU, cultures principales, surfaces, succession)
- *Semences* : sur quels critères repose son choix pour les variétés (résistance, calibre, coût d'achat, habitude dictée, autres...) ;
- *Itinéraires culturels* (par cultures et par opération en précisant la durée, le nombre des ouvriers, le coût) ;
- *Les équipements* (travail du sol, irrigation, traitement phytosanitaire) ;

- *Travail du sol* : période, outils, temps, nombre de passage et coût de chaque opérations ;
- *Le profil de l'agriculteur* (âge, origine, formation, adhésion-association, réseau, expérience professionnelle) ;
- *Engrais et amendements organiques* : quantités, coûts et nombre des apports par serre ;
- *Itinéraire d'irrigation* par culture (connaître les équipements, type de pompes), profondeur/ date de réalisation du forage, débit, qualité de l'eau, usage (autre que pour irrigation), système d'irrigation (Seguia, localisée, aspersion ou autres), doses et fréquence (règle de décision) ;
- *Pratiques phytosanitaires/culture* (spécialité commerciale, dose, fréquence, cible, mode d'apport, précautions d'emploi (pendant et après application), entreposage produits, gestion emballage, entretien matériel de traitement, temps, main d'œuvre, coût) ;
- *Récolte et vente* : rendements, nombre de cueillettes, acquisition de moyens de transport et prix de vente sur le marché.

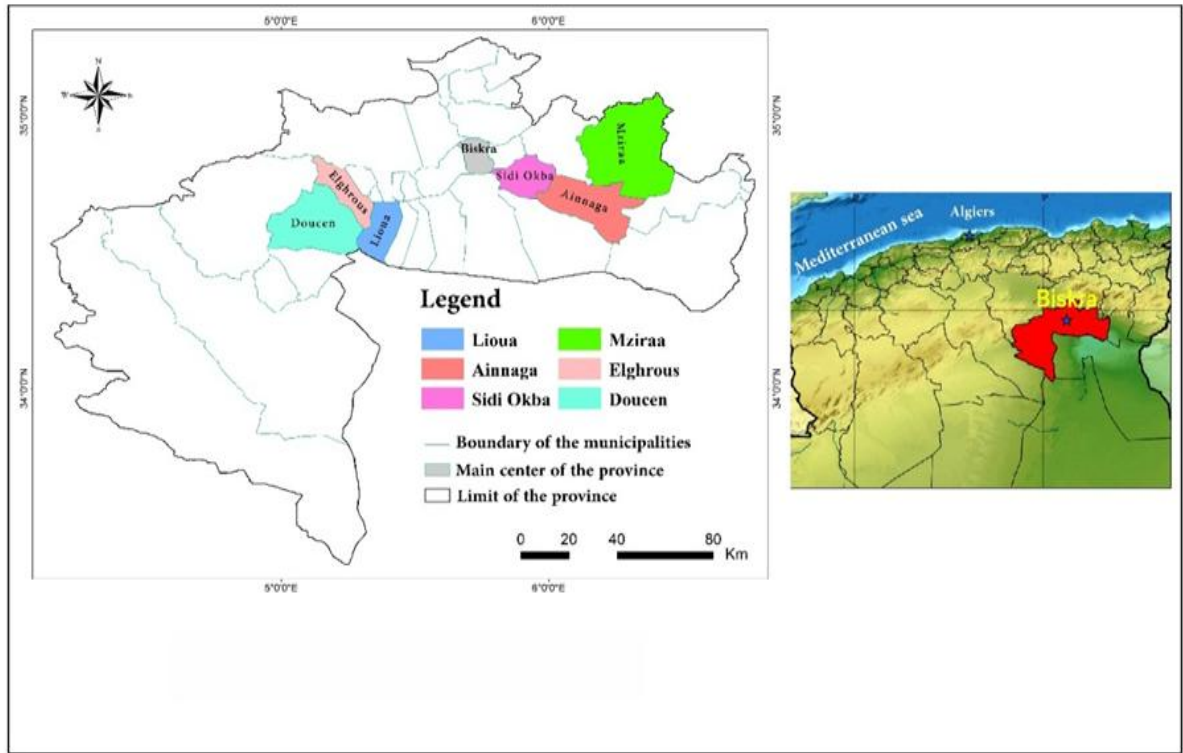
#### **1.1.4. Saisi et traitement des données :**

Le traitement des données a été effectué en utilisant le logiciel statistique SPSS version 20, et Excel. De façon que chaque question dans le cahier d'enregistrement est traitée comme variable pour les objectifs suivants :

- a) Description statistique des pratiques: moyenne, minimum, maximum, ... ;
- b) Analyse du chi deux ( $X^2$ ), par le biais d'un tableau croisé des variables qualitatives sur le logiciel SPSS, v 20, pour tester l'indépendance entre les variables.
- c) Analyse en Composantes Principales (ACP): dans le but de la détermination des relations entre les variables pour caractériser la typologie de la durabilité du système de production sous serre à Biskra ;
- d) Analyse de la classification hiérarchique ascendante pour la répartition des exploitations enquêtées selon des classes homogènes.

#### **1.1.5. Les régions concernées par le suivi :**

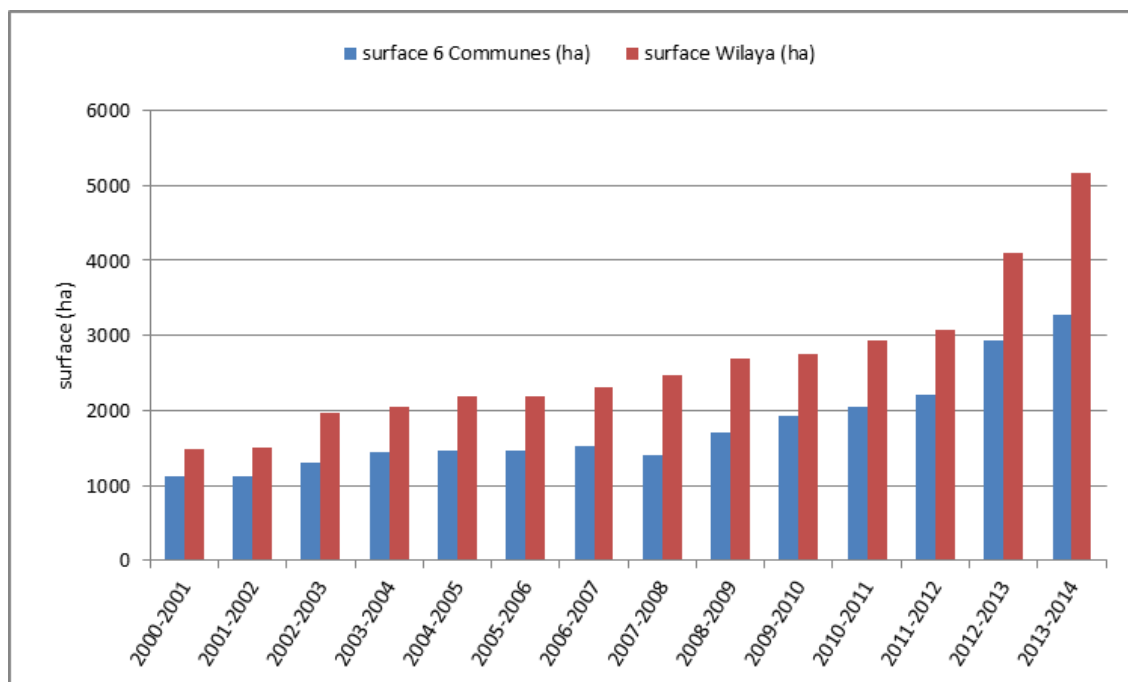
Les régions concernées par l'étude sont le communes les plus productives dans la Wilaya à savoir : M'ziraa, Ain naga, Sidi Okba, Elghrous, Doucen et Lioua (figure 5).



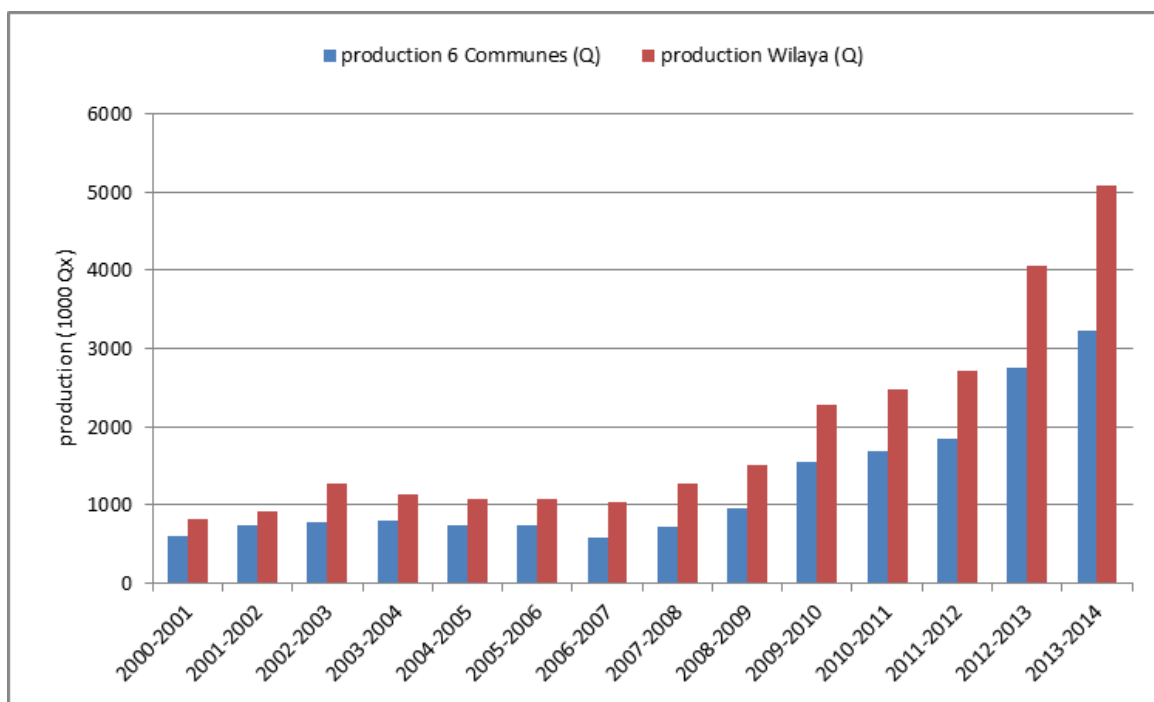
**Figure 5 :** Situation des régions étudiées

### 1.1.6. Raison du choix de ces régions :

Les 6 communes sélectionnées totalisent presque 65% ( $\approx 2/3$ ) de la superficie totale de la wilaya destinée à la production de maraîchage sous serre qui est de l'ordre de 3549,84 ha. (Données DSA, 2011/2012). Les figures 6 et 7 montrent l'importance des surfaces et des productions des 6 communes. On a enregistré un rapport entre les 6 communes et le total de la wilaya de 65,90% pour la surface et 61,59% dans la production pour la campagne 2002-2003. Et un rapport de 71,85% pour la surface et 68,12% dans la production pour la campagne 2012-2013.



**Figure 6 :** évolution des surfaces des serres des 6 communes et surface totale des serres de la wilaya (2000-2014), (DSA, 2000-2014).



**Figure 7 :** évolution des productions des serres des 6 communes et la production totale des serres de la wilaya (2000-2014), (DSA, 2000-2014).

## Détermination de la taille de l'échantillon

Le choix des individus à enquêter s'est effectué par un échantillonnage probabiliste. Il s'agit d'un échantillonnage aléatoire simple pour sélectionner l'échantillon à l'intérieur de chaque strate (commune). La taille de l'échantillon est déterminée sur la base de règles précises inspirées par Angers (1996). Ces formules donnent des indications générales selon l'effectif de la population visée. Selon Angers (1996), avec une population comptant une ou quelques centaines à quelques milliers d'éléments, il est préférable de prendre une centaine d'éléments pour chaque strate constituée et plus globalement, d'avoir 10% de la population. Donc, l'échantillon représente 10% de la population totale répartie sur les 6 communes. Le poids de chaque strate dans l'échantillon ne correspond pas à son poids dans la population mère à cause de la méthode aléatoire adoptée lors de l'enquête.

Le nombre total des serristes dans la wilaya de Biskra est de 1191 (Données DSA 2011/2012), nous avons considérés seulement l'effectif des 6 communes choisies, qui est de 850 maraîchers, un échantillonnage de 10% correspond à  $\approx 85$  agriculteurs (tableau 3).

**Tableau3:** Effectifs des agriculteurs des 6 communes (DSA, 2012)

Commune	Effectifs	Surface (ha)
Ain Naga	305	556.66
M'ziraa	186	191.6
El Ghrous	117	680
Doucen	104	363
Lioua	100	252.96
Sidi Okba	38	282.45
Total	850	2326.67

Dans ce travail, nous nous intéressons au système de culture des légumes sous serre (principalement: tomate, piment, poivron, aubergine, courgette, et melon) en raison de sa pertinence et de sa particularité de rendement élevé des cultures; dépendant de l'approvisionnement en eau par les eaux souterraines; l'utilisation intensive d'engrais et de pesticides et les systèmes de double culture sous serres. La superficie étudiée est d'environ 5165 ha. Dans ce travail nous ne considérons que les six communes les plus productives de la province

de Biskra: M'ziraa, Ainnaga, Sidi Okba, Elaghrous, Doucen et Lioua. Actuellement, certains problèmes environnementaux graves liés à la surexploitation des eaux souterraines et à la salinisation des sols sont en plein essor à Biskra, ce qui remet en question la durabilité du système de production agricole. En conséquence, il est absolument nécessaire d'étudier la durabilité environnementale et socio-économique de ce système en établissant des indicateurs appropriés. À cet égard, nous avons mené une enquête par questionnaire sur les pratiques agricoles des agriculteurs dans les six régions concernées (figure 5).

## 2. Résultats et discussions

### 2.1. Caractérisation des exploitations :

Les échantillons sont choisis aléatoirement dans les 6 communes concernées par le suivi avec une répartition plus ou moins homogène sur la Wilaya. Le tableau 04 montre la situation des effectifs de 85 exploitations choisis.

**Tableau4** : répartition des exploitations enquêtées selon les communes.

Commune	Effectifs	Pourcentage
M'ziraa	16	18,8
Ain Naga	19	22,4
Sidi Okba	9	10,6
Laghrous	16	18,8
Doucen	11	12,9
Lioua	14	16,5
Total	85	100

Il est important de noter que les différentes pratiques agricoles entre les six communes sélectionnées ont abouti à une gestion des cultures nettement différente. Ces différences sont dues au contexte socio-économique des agriculteurs.



## 2.1.1. Critères physiques et sociaux des maraîchers

### 2.1.1.1. Origine :

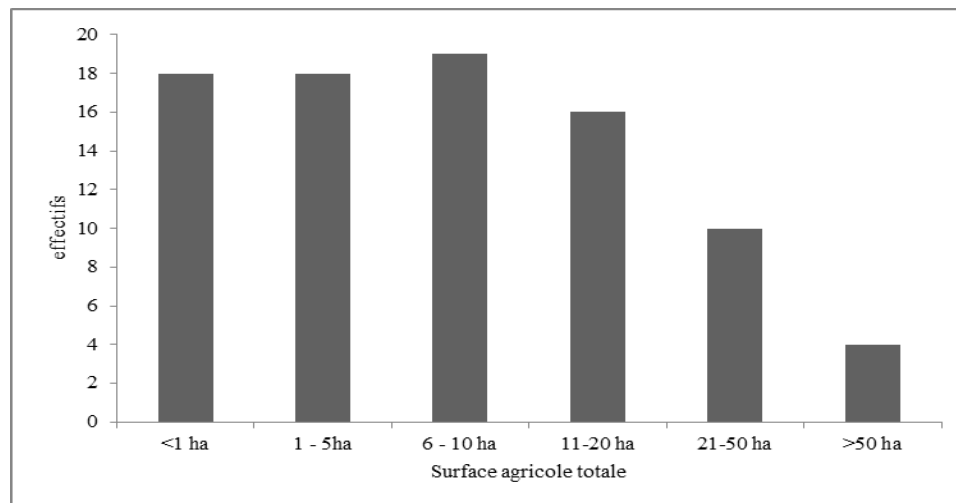
**Tableau 5** : Origine des agriculteurs

Origine	Effectifs	Pourcentage
Biskra	67	78.8
Autre wilayas	18	21.2

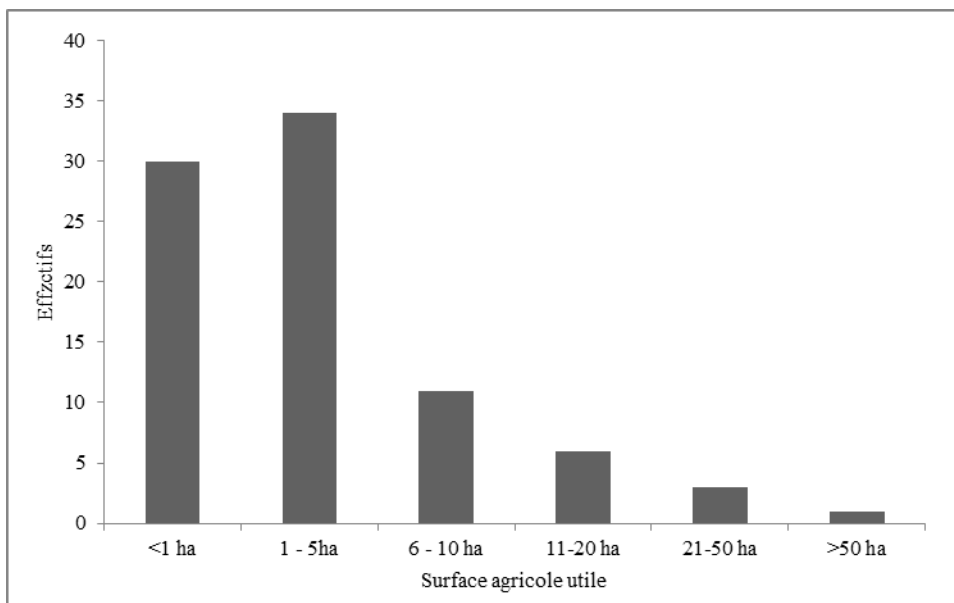
Le tableau 5 illustre la répartition des agriculteurs enquêtés selon leurs origines. Les résultats révèlent que les agriculteurs externes viennent de 4 wilayas. Ces wilayas, par ordre d'importance sont ; Tipaza, M'sila, Médea et Khenchela. Par ailleurs, l'absence des investisseurs étrangers est remarquable, dans l'agriculture, au niveau des six localités.

### 2.1.1.2. Surface :

Les surfaces possédées par les agriculteurs changent en fonction de l'état foncier, la région et la capacité financière, les figures 8 et 9 illustrent une répartition hétérogène des effectifs selon les classes de surfaces. Il faut signaler que les surfaces dans le côté Est de Biskra sont toujours plus importantes que dans le côté Ouest.

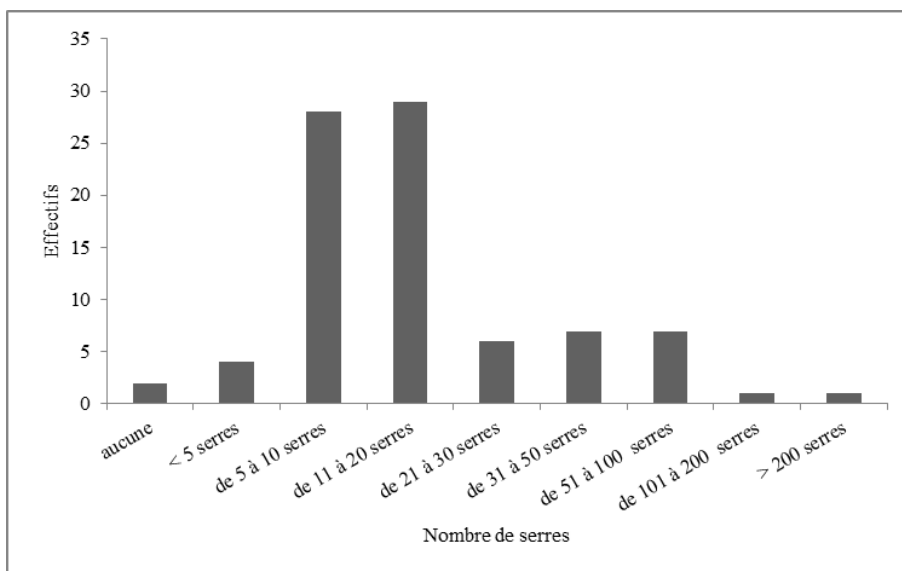


**Figure 8** : surface agricole totale par exploitation



**Figure 9** : surface agricole utile par exploitation

### 2.1.1.3. Nombres de serres par exploitation



**Figure 10** : Nombres de serres tunnels par exploitation

**Tableau6** : nombre de serres Canariennes (2014-2015)

	Effectifs	Pourcentage
aucune serre	76	89.4
1 serre	4	4.7
2 serres	2	2.4
4 serres	1	1.2
plus de 4 serres	2	2.4

La figure 10 et le tableau 6 présentent le nombre de serres tunnels et canariennes respectivement installées durant la campagne 2014-2015 par les Fellah. On voit clairement que la majorité avoir entre 5 et 20 serres tunnels. La région de M'ziraa est le pionnier en matière de nombre de serres installées par agriculteur qui peut atteindre plus de 200 serres par propriétaire.

Les serres canariennes se trouvent exclusivement dans le Zab Est avec un pourcentage de 11%.

#### **2.1.1.4.Statut foncier**

**Tableau7** : Le statut foncier des agriculteurs

	Effectifs	Pourcentage
Propriétaires avec acte	50	58.8
Locataires	25	29.4
Gérants	5	5.9
Associés (1/3, 1/4)	5	5.9

La carence en possession de terres reste une contrainte pour la pérennité de l'agriculture. Nos enquêtes (tableau 7) montrent que, environ 42% de l'ensemble des agriculteurs enquêtés n'ont pas de titre foncier. D'une façon générale, les propriétaires et les gérants sont de la wilaya. Tandis que, les locataires et les associés sont originaires d'autre Wilayas, surtout celles du nord: Tipaza et Médéa. Concernant les types de location, on trouve plusieurs combinaisons de location.

La pratique la plus répandue entre locataires c'est la location de la terre et de l'eau avec un pourcentage de 77% et un coût variable de 10000 à 35000 DA/serre/campagne.

La majorité des agriculteurs sont de petits producteurs qui ne disposent pas de ressources financières pour couvrir toutes les charges de production. Ces producteurs font appel au crédit fournisseur d'intrants auprès des revendeurs des intrants agricoles. Ces financements sont limités à certains agriculteurs, donc, ces pratiques ne peuvent pas contribuer à l'épanouissement d'un développement agricole économiquement viable (Daoudi et Wampfler, 2010), bien que, ces agriculteurs peuvent entrer en association avec un propriétaire aisé financièrement. Les types les plus communs d'associations sont le métayage par 1/3 ou 1/4. Cependant, les métayers croient toujours que leurs droits sont sous-estimés par les propriétaires, ce qui met en cause la durabilité de cet arrangement sociale. Le tableau suivant (8) présente les charges de chaque partie dans le cas d'association par 1/3.

**Tableau8** : Charges de chaque partie en association par (1/3)

<b>Charges du propriétaire</b>	<b>Charges du métayer</b>	<b>Charges communes</b>
Electricité	Installation des portes de la serre	Intrants chimiques : engrais et pesticides
Réseau goutte à goutte et accessoires	Main d'ouvre pour le traitement phytosanitaire, l'épandage des engrais	Fumiers
Bâchage de la serre avec les fils galvanisés et d'attachement	Opérations culturelles sur les plantes : plantation, palissage, effeuillage, ébourgeonnage et désherbage	Semences ou plantules
Travail du sol	Débâchage	Plastique pour le paillage
Transport	Récolte	Terreau
Alvéoles de plantation		

**Concernant l'association en (1/4)** le propriétaire assume toutes les charges, par contre, le métayer assure la réalisation des opérations culturelles et les itinéraires techniques : épandage des fumiers, semis, transplantation, irrigation, palissage, ébourgeonnage, effeuillage, désherbage, traitement phytosanitaire, installation du réseau d'irrigation et récolte.

### **2.1.2. Structure et emplacement des serres**

Dans cette région, le type de serre est principalement des tunnels simples qui sont souvent regroupées en plus grand nombre et récemment il y a apparition de serre canarienne où chaque type a des caractéristiques spécifiques. Le tunnel est étendu sur une surface de 3549,84 ha avec des structures très peu coûteuses, manque de bonne aération naturelle et peu de contrôle climatique, au contraire la Canarienne est occupée par une technologie sophistiquée avec des insecte-proof et des systèmes de ventilation plus efficaces. En conséquence, le nombre de serres par agriculteur dans l'Est est plus important en comparaison à l'Ouest. Les espèces les plus couramment cultivées sont : tomates, poivrons, courgettes, concombres, aubergines, melons, haricots verts. L'orientation de la serre est généralement nord-sud pour bénéficier du maximum de rayonnement solaire et éviter les vents dominants. La sélection du site est influencée par plusieurs considérations: la distance aux marchés, la disponibilité des infrastructures (route, réseaux de transport, énergie). Le matériau de couverture est choisi pour sa performance en transmission lumineuse et sa durée de vie qui peut être étendue jusqu'à trois saisons. La plastique anti-poussière et anti-goutte sont absents; En dépit de leur importance dans la déshumidification des serres. L'ombrage a été utilisé pour diminuer la température pendant l'été et au début de la saison; L'argile et la chaux blanche sont des matériaux communs mis en œuvre par les cultivateurs en raison de leur faible coût.

### **2.1.3. Travail du sol et gestion des machines**

Dans cette partie on s'intéresse au matériel utilisés, le nombre de passages, le temps et le coût du travail. Les résultats montrent que tous les agriculteurs font appel à une charrue à socs pour le labour profond (de 25 à 30 cm). Puis, une charrue à disques pour le travail superficiel (avec un pourcentage de 83.5%). Le mélange des fumiers organiques est assuré généralement par un cultivateur rotateur (68%), et le reste mélange les fumiers manuellement. Le quatrième outil utilisé est la billonneuse pour la confection des billons (72%).

Dans la plus part des cas, le travail du sol est réalisé par des entreprises spécialisées avec un coût variable selon la région de 700 à 1000 DA par serre pour chaque opération.

Généralement, la mécanisation est employée dans le travail du sol, le hersage, l'épandage du fumier, la préparation des billons, le traitement phytosanitaire et l'irrigation. Le calcul du nombre de passages annuels montre que la charrue à socs est utilisée à 92% pour un passage et à 8% pour deux passages. L'adoption de la charrue à disques est de 50%, 20%, 8% et 6% pour un, deux, trois ou quatre passages, respectivement. Le rotavator est utilisé à 78% pour un passage et 22% pour deux passages. Finalement, tous les utilisateurs de la billonneuse passent une fois (voir tableau 9).

**Tableau 9** : nombre de passages selon les outils mécaniques.

Outil	Nombre de passages			
	1 passage	2 passages	3 passages	4 passages
Charrue à socs	92%	8%	0	0
Charrue à disques	50%	20%	8%	6%
Cultivateur rotatif	78%	22%	0	0
Billonneuse	100%	0	0	0

Il convient de mentionner que le travail simplifié du sol n'a guère été étudié dans la production de légumes protégés, et cela malgré le grand nombre des travaux scientifiques sur le travail simplifié dans les systèmes de production dans les grandes cultures.

La charrue à socs a plusieurs problèmes environnementaux tels que l'érosion éolienne connue sous le nom de «Dust Bowl» (Lal et al., 2007). Holzworth et al., (2007) ne recommandent pas le labour profond pour la majorité des sols dans cette région en raison de leur salinité élevée. Par conséquent, le sel se pose à la surface, et peut détruire la structure du sol et les résidus pour le drainage du sol. Alors que Tuzel (2013) affirme que le labour peut réduire le risque d'accumulation de sel lorsqu'il est combiné avec de petits volumes d'irrigation et de paillage. Les pratiques de non-labour augmentent la teneur en carbone organique, ce qui conduit à une

augmentation de la capacité de sorption du sol et donc à une diminution du lessivage des pesticides vers les eaux souterraines (Herrchen et Klein, 1998). Le travail du sol sans labour peut réduire le coût à 50% (Avci 2011).

#### **2.1.4. Les itinéraires culturaux à l'intérieur des serres**

Les opérations culturales concernent tous les travaux réalisés pour l'entretien des cultures : le palissage, l'effeuillage et l'ébourgeonnage. Ces opérations sont plus ou moins variables selon la culture et la variété. La culture la plus laborieuse du point de vue main d'œuvre est la tomate. 76,5% des agriculteurs cultivent leurs propres plantules, tandis que 23,5% les achètent dans une pépinière spécialisée. La densité moyenne de plantation est de 6 plants/m<sup>2</sup> dans la tomate. Malgré cela, la forte densité des plantes dans le tunnel provoque le problème de prolifération des maladies (Tuzel, 2013). Toutes les graines cultivées sont importées et hybrides. Cela peut faire dominer les graines locales qui sont mieux adaptées aux conditions de la région. Les plantes greffées sont rarement utilisées dans la production de légumes à Biskra.

Pour la tomate et le poivron, le palissage, l'ébourgeonnage et l'effeuillage sont effectués dans le but d'augmenter la circulation de la lumière et d'air et de réduire l'occurrence de maladie. Dans certaines communes (Doucen), quatre tiges à quatre bouquets sont appliquées afin d'augmenter les rendements et de minimiser le potentiel lorsque la plante est plus élevée.

La pollinisation dans les serres canariennes est bien contrôlée à l'aide des bourdons pollinisateurs par contre dans les serres tunnels, elle est assurée par l'utilisation de régulateurs de croissance des plantes (22.5%). Tuzel (2013) a soutenu que l'utilisation de bourdons pour la pollinisation est plus efficace que les vibrations mécaniques ou régulatrices de croissance chimique en termes de rendements.

Les cultures et les cultivars sont choisis selon l'exigence du marché, l'expérience des agriculteurs, la vocation régionale et les spéculations de l'année précédente.

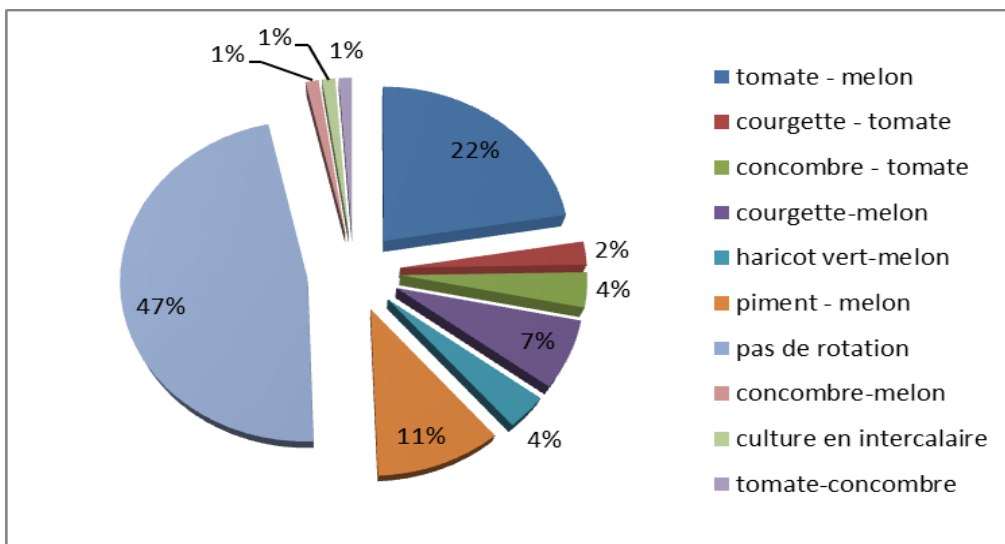
Les caractéristiques demandées par le marché sont: fermeté, taille, précocité et brillance du fruit pour la tomate; allongement, brillance dans l'aubergine; la couleur jaune dans le piment; allongement dans le poivron; la taille et le goût du melon. En outre, les agriculteurs aiment choisir des cultivars plus résistants avec des calibres très importants. Par ailleurs, certaines

régions favorisent certains cultivars en fonction du climat ou de l'état du sol, par exemple, la région de Doucen se caractérise par des températures plus basses ce qui favorise les cultivars tardifs. En fin, la tomate est plus cultivée dans des sols argileux.

La pratique de rotation est appliquée pour assurer un revenu alternatif en cas de défaillance des cultures ou d'inefficacité économique. Deux systèmes de rotation ont été pratiqués par les agriculteurs. Tout d'abord, double culture sous serre pendant la même saison (automne-printemps et printemps-été). Neuf types de rotation ont été enregistrées (tomate-melon, courgette-tomate, concombre-tomate, courgette-melon, haricot vert-melon, piment-melon, concombre-melon, haricot vert en intercalaire avec le piment et tomate-concombre) (figure 11). La rotation la plus utilisée est la succession entre la tomate et le melon durant une même saison vu son utilité économique ; durant les mois de décembre – mars les prix du marché sont très attractifs parce que la tomate du nord n'est pas encore sur le marché par rapport à celle de Biskra qui est plus précoce. A partir du mois de mars la serre est plantée par du melon qui sera entré sur le marché durant le mois d'avril avec des prix considérables. Deuxièmement, la rotation annuelle après le déplacement de la serre en raison de la réduction de la fertilité du sol, la terre sera plantée l'année suivante par une culture de plein champ (légumineuse). Une forte variabilité au sein des agriculteurs a été observée en termes de durée d'occupation des serres sur la même place. 10% changent la serre chaque année, 50% déplacent la serre tous les deux ans, 33% la déplacent tous les trois ans et le reste attend plus de trois ans pour déplacer la serre. Cette pratique peut améliorer la structure du sol et la fertilité en protégeant le sol de l'érosion. En outre, la rotation des cultures inhibe l'apparition d'insectes, de ravageurs et de maladies qui se produisent souvent dans la monoculture en brisant leurs cycles biologiques (Florentín et al., 2011; Cothren, 2016).

Ces dernières années, les nouvelles méthodes de culture ont été bien fondées, y compris la culture hors sol, qui peut représenter l'une des principales solutions aux problèmes de sols pour la culture intensive sous serre (Gruda et al., 2013).

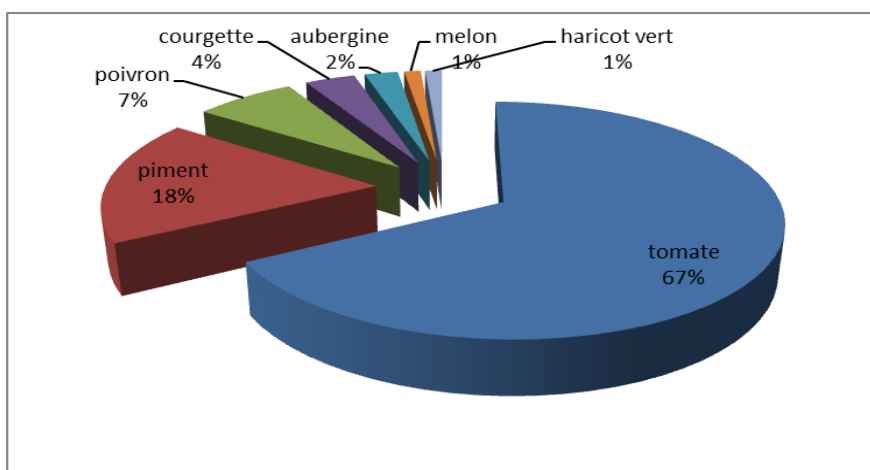




**Figure 11** : type de rotation en culture sous serre tunnel

**Culture principale :**

La figure 12 révèle que la culture dominante est la tomate chez 67% des plasticulteurs, vu la maîtrise des itinéraires de production, les rendements énormes assurés, la tomate est demandée sur la totalité du marché nationale. La deuxième place est réservée pour le piment avec 18%. Le reste est réparti entre : le poivron, la courgette, l'aubergine, le melon et le haricot vert. Les résultats de la répartition des cultures selon le type confirment les données de la DSA Biskra de 2011/2012. Parmi les variétés de tomate, on cite : Tofan, Sahra, Doucen, Kawa, Izoran...



**Figure 12**: Cultures principales choisies par l'agriculteur

### **Mois de semis et de repiquage de la culture principale:**

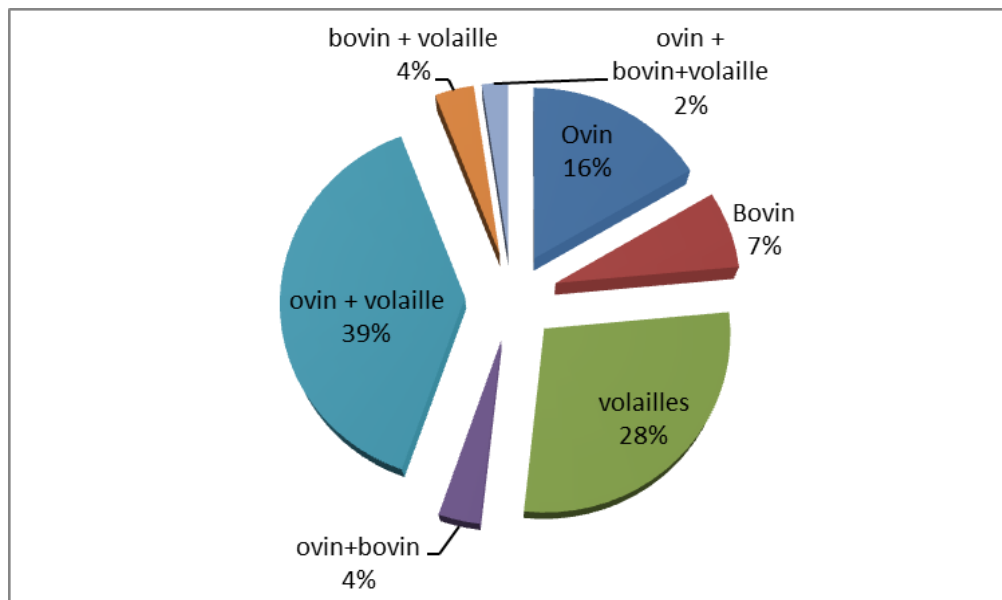
Le choix du mois de plantation de la culture principale est affecté par plusieurs facteurs : Le climat (régions froides préfèrent les variétés tardives), le statut foncier (les locataires arrivent du nord du pays optent pour des variétés précoces pour terminer la saison avant les grandes chaleurs), la structure du sol, la curiosité des agriculteurs dans le cas de nouvelles variétés introduites et enfin, la maîtrise des techniques. Souvent, la période de semis est la première moitié du mois d'aout et la période de repiquage est la première moitié du mois du septembre.

#### **2.1.5. Fertilisation et application du fumier**

Dans notre enquête, on a noté les quantités, les coûts et le nombre de fois d'utilisation de chaque engrais. Les engrais sont gérés d'une façon non raisonnable et inégale sur la région de Biskra, les fermiers utilisent les différents types d'engrais disponibles sur le marché (granulé, en suspension ou gel). On mentionne le rôle des agents technico-commerciaux dans l'orientation des serristes dans la détermination de la dose et le type des engrais ; dont la majorité ignorent les besoins des plantes.

Beaucoup de serristes maraichers déterminent le taux d'application des engrais sur la base de leur expérience pratique. En outre, la teneur en éléments nutritifs du sol au début de la saison n'est pas prise en considération. En fait, seulement 20% des répondants analysent leurs sols. Dans la plupart des cas, l'application excessive de fumier et d'engrais commerciaux conduit à une contamination des eaux souterraines par l'augmentation du niveau de nitrates dans les eaux souterraines (Spalding et Exner, 1992; Sarkar et al. 2011). Dans les serres canariennes, l'application des engrais se fait par fertigation à l'aide d'une station de tête complète tandis que dans les serres tunnels les fermiers propagent l'amendement minéral dans la zone racinaire ou les injectent dans le réseau d'irrigation par des bidons ordinaires. Ces récipients présentent plusieurs inconvénients dans l'homogénéité de la distribution des nutriments, donc, il est nécessaire d'équilibrer les besoins et les apports en azote. En ce qui concerne l'addition de fumier animal, les intrants de fumier sont habituellement un mélange d'origines différentes (volaille, bovine ou ovine). (39%) des enquêtés utilisent un mélange ovin-volaille. En plus, trois autres combinaisons ont été trouvées; ovin-bovin, volaille-bovin et ovin-bovin-volaille avec 4% pour chacun. Enfin, 50% utilisent séparément un type d'engrais organiques (figure 12). Le fumier utilisé est dû à sa

capacité rapide à libérer des éléments nutritifs indépendamment de la lixiviation des éléments nutritifs (Jordan et al., 2013). De ce fait, la matière organique contribue au maintien de la fertilité du milieu par la protection des sols contre l'érosion. L'enquête montre que les quantités moyennes de fumier et d'engrais ajoutées par serre tunnel sont 2387 Kg et 68 Kg, respectivement. Le compostage est négligé par presque tous les producteurs de légumes, malgré les bienfaits de l'absence de bactéries pathogènes et l'adéquation entre le taux de libération des nutriments et les besoins en nutriments des plantes (Jordan et al., 2013).



**Figure 13 :** type de fumier organique utilisé

### 2.1.6. Gestion des eaux d'irrigation

La quasi-totalité des agriculteurs utilisent l'irrigation goutte à goutte, mais seule une minorité d'entre eux ont une bonne maîtrise de ce système. Trois conditions gouvernent la gestion de l'eau: l'acquisition d'un forage, la présence d'un compteur et le statut de propriété foncière ; la majorité des agriculteurs locataires dispose de l'eau selon un calendrier déterminé selon le nombre de serres avec des fréquences allant de deux à trois jours.

Le nombre de lignes par serre ainsi que les espacements entre deux goutteurs sont variables d'une région à l'autre. Le nombre commun des lignes est de huit lignes par serre. L'espacement moyen entre deux goutteurs est de 10 cm. La maximisation du rendement et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau peut être assurée par l'utilisation de l'irrigation goutte-à-goutte enterrée. L'enterrement

de la gaine d'irrigation est pratiquée par 20% des producteurs de légumes afin de réduire l'évapotranspiration et d'éviter le risque de colmatage des conduites en raison des quantités élevées de salinité dans l'eau. La profondeur de 15 cm permet une maîtrise plus efficace sur le terrain et l'évapotranspiration pourrait être réduite à 40% (Abou Kheira et El Shafie, 2007). Plus de 35% des agriculteurs se basent sur leur expérience comme référence de pilotage de l'irrigation et 46% sur l'apparence des plantes et des sols (tableau 10). En conséquence, la moyenne estimée d'eau d'irrigation pour une saison des cultures en serre était de 750 mm alors que les normes d'irrigation d'une serre de tomate recommandent environ 400 mm (Zella et Smadhi, 2009). Cette utilisation excessive de l'eau a changé les réserves de l'aquifère au cours des deux dernières décennies, de sorte que des rabattements des nappes ont résulté d'une grande exploitation des eaux souterraines par des forages et des puits inappropriés et incontrôlés. En effet, environ 150 mètres ont été enregistrés comme baisse du niveau d'eau et 770 millions de m<sup>3</sup> d'eau souterraine consommée annuellement pour l'irrigation d'une surface de 103 478 Ha (ABHS, 2014 ; DSA, 2014). Les fortes valeurs des volumes soutirés sont issues des nappes du Quaternaire, du Mio-Pliocène et des calcaires avec les volumes suivants 141, 229 et 160 Hm<sup>3</sup>/an. En conséquence, Thompson et al., (2007) signalent que les quantités abondantes d'irrigation induisent la lixiviation des nitrates dans les aquifères profonds et la pollution de l'eau souterraine.

Les exploitations organisées autour d'un forage collectif pratiquent un système de répartition de l'eau par rotation, chaque exploitant disposant d'un certain nombre d'heures d'eau en fonction de son nombre de serres. Les exploitants qui n'ont pas de forage achètent une partie de débit à partir des voisins (Khiari, 2002).

La productivité de l'eau est devenue un concept central dans les réflexions sur la gestion durable de l'eau et l'agriculture durable. Les derniers concepts visent plus de production avec moins d'eau. Pour cela, nous avons estimé la productivité de l'eau chez 65 agriculteurs pour la tomate en rapportant les productions sur les quantités d'eau consommées. Les résultats montrent une moyenne de 0.3 Kg/m<sup>3</sup> qui est très loin de la norme internationale (5-20 kg/m<sup>3</sup>), (Molden et al. 2010).

**Tableau10** : critères de pilotage des irrigations

	Effectifs	Pourcentage
sol	13	15.3
plante	26	30.6
climat	14	16.5
habitude	30	35.3
tour d'eau	2	2.4

Le tableau 10 illustre les critères de pilotage d'irrigation (sur quelle base on déclenche l'irrigation), on aperçoit distinctement qu'il n'y a pas de critères normalisés sur lequel se base l'agriculteur. Ce qui signifie, que la gestion de l'eau n'obéit pas à des raisonnements scientifiques. Les mêmes remarques sont valables pour les fréquences et les doses d'irrigation.

#### **2.1.7. Traitements phytosanitaires :**

Dans cette zone, la gestion rationnelle des produits agrochimiques est peu pratiquée où l'agriculture est basée sur l'utilisation préventive de pesticides. La quantité croissante d'intrants chimiques est le résultat de leur grand potentiel pour améliorer la productivité des cultures, en particulier pour augmenter le rendement des cultures et le revenu des agriculteurs par l'élimination systémique de toutes les maladies et les ravageurs nuisibles. Cependant, ces doses utilisées peuvent conduire à des effets indésirables comme : L'augmentation de l'état de résistance des vecteurs nuisibles conduisant à l'apparition d'une nouvelle génération plus tolérante aux insecticides; risques d'intoxication du traicteur; contamination de l'eau et de l'air (Alletto et al., 2010; Dusfour et al., 2010; Huang et al., 2014). Le risque d'utilisation inadéquate des pesticides peut s'aggraver à cause du manque de formation et de conseils techniques. Ceci conduit à des pratiques risquées, et en plus handicape le développement d'une agriculture saine et durable (Kanda et al., 2009).

Plusieurs insectes ont été recensés, *Tuta absoluta*, mouches blanches, pucerons, acariens et mineuse de feuilles. Les résultats des attaques fongiques montrent l'existence d'oïdium, mildiou et botrytis, en plus de certaines maladies virales et bactériennes. L'intégration du contrôle

chimique, biologique et mécanique des ravageurs et des maladies à l'aide de prédateurs d'insectes nuisibles est utilisée à une échelle limitée (une seule ferme). Il convient de souligner l'utilisation restreinte d'herbicides (environ 6% seulement), le contrôle des mauvaises herbes est effectué manuellement dans 55,3% des fermes. De plus, 14% utilisent du film en plastique et le reste alternent toutes ces techniques.

Abdel Wali (2013) propose quelques options de gestion pour lutter contre les insectes et les maladies: éliminer les mauvaises herbes autour de la serre, Système d'accès sécurisé, les écrans pour garder les insectes hors de la serre et les pièges jaunes pour une détection précoce. En outre, la littérature présente quelques méthodes non chimiques telles que la diversité génomique de l'hôte, la lampe tueuse, le liquide et les résidus fermentaires du biogaz, le contrôle biologique, la solarisation du sol, les amendements du sol, les pièges à phéromones et le nettoyage manuel (Huang et al. 2014, Kabir et Rainis, 2015).

#### **2.1.7.1. Nombre total des produits pesticides**

La majorité (40%) utilise entre 6 et 8 produits phytosanitaires par campagne par serre.

La plupart des agriculteurs n'enregistre pas les produits utilisés. C'est pourquoi ils ne se rappellent pas tous les produits et des fois ils nomment des produits anciennement appliqués. Dans le tableau 11 on a présenté les chiffres mentionnés par les agriculteurs eux-mêmes. Le nombre de pesticides utilisés peut atteindre 20, parfois avec la même matière active.

**Tableau11** : nombre de produits pesticides total utilisé mentionné par les agriculteurs

Nombre de pesticides	Effectifs	Pourcentage
2	5	5,9
3	4	4,7
4	8	9,4
5	5	5,9
6	12	14,1
7	14	16,5
8	8	9,4
9	7	8,2
10	6	7,1
11	4	4,7
12	1	1,2
13	3	3,5
14	2	2,4
15	2	2,4
16	1	1,2
17	2	2,4
20	1	1,2

#### **2.1.7.2.Risques d'exposition aux pesticides**

Sarkar et al. (2011) ont considéré l'état de santé des agriculteurs comme un indicateur fondamental de la durabilité. En revanche, le niveau de sensibilisation des agriculteurs de Biskra à l'impact négatif des pesticides sur la santé est faible ou insignifiant pendant les activités agricoles. À cet égard, la sécurité sanitaire du producteur a été évaluée en fonction du risque d'intoxication du travailleur lors de l'application de produits pesticides. Selon la moyenne de protection utilisée par l'agriculteur, cinq classes ont été envisagées. Les résultats (Tableau 12) montrent que: 43% n'utilisent aucun moyen de protection; 15% ne mettent qu'un masque;

26% combinent le masque avec des gants; 3% avec masque et lunettes; 13% utilisent des vêtements de protection complets.

**Tableau 12 :** moyens de protection lors des traitements

Que portez-vous lors des traitements phytosanitaires ?	Effectifs	Pourcentage
aucun moyen de protection	37	43.5
masque	13	15.3
tenue complète	11	13
masque + gants	22	25.9
masque + lunettes	2	2.4

Les producteurs maraichers de Biskra ne se préoccupent pas de la protection contre l'effet néfaste des pesticides à cause de la difficulté engendrée par les moyens de protection durant le travail et le manque de prise de conscience du danger des pesticides.

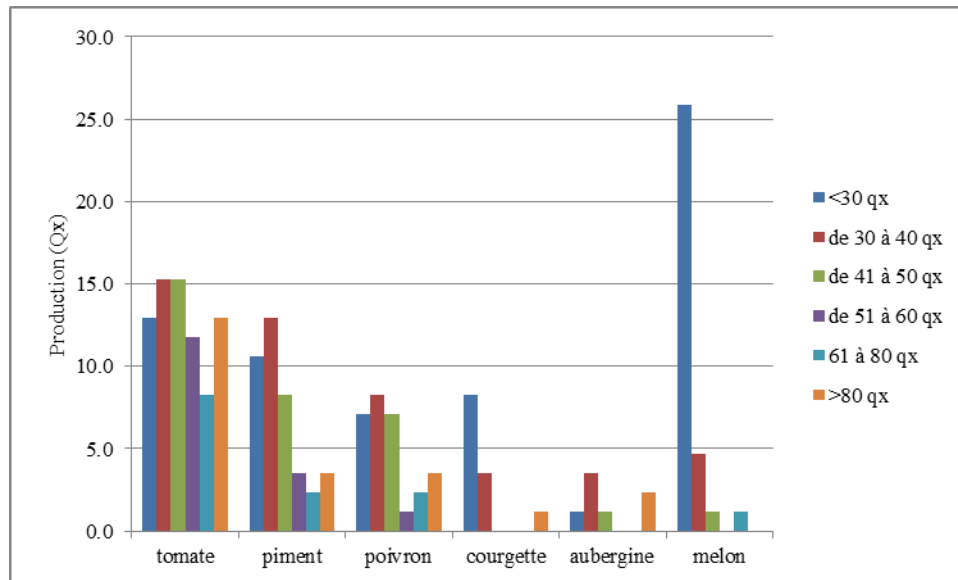
#### **2.1.8. Récolte et vente :**

Pour les calculs économiques nous avons renseigné la production de chaque type de culture (tomate, piment, poivron, courgette, aubergine et melon), selon les spéculations disponibles au niveau de chaque exploitation enquêtée. En plus, du prix moyen de la vente la figure 14 affiche les résultats de productions estimées des différentes cultures en Quintaux par serre.

Les difficultés de l'agriculture tiennent beaucoup plus à l'organisation du marché, le transport et le conditionnement des produits. Biskra englobe trois marchés de gros (M'ziraa, Ainnaga et Elghrous), dont la majorité de la production est destinée vers les régions Est et centre du pays. L'exportation vers l'extérieur du pays n'est pas disponible pour les agriculteurs.

La production est variable, cette fluctuation peut être due essentiellement à la différence des pratiques choisies en combinaison avec les conditions édapho-climatiques et le niveau intellectuel du fermier.





**Figure 14 :** production estimée des différentes cultures (Qx/serre)

Il y a un autre élément relatif à la production c'est le nombre de récoltes par saison. Cet élément est en relation avec la difficulté suivie de l'évolution de la production de telle culture. Le nombre de récoltes durant la saison est variable selon la culture, la variété, la période de repiquage, la région et même les prix dans le marché. Pour la tomate on a enregistré un nombre de récoltes allant de 4 jusqu'au plus de 30.

## 2.2. Typologie des exploitations :

La recherche d'une typologie conduit à élaborer une classification des exploitations enquêtées selon le niveau d'intensification des pratiques culturales en utilisant la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) et la méthode de Classification Hiérarchique (CH) à l'aide du logiciel SPSS.

Pour l'élaboration de cette typologie, on a déterminé les pratiques agricoles caractérisant l'intensification dans la région d'étude. Pour cela, les niveaux d'intensification sont estimés à travers 06 paramètres qui décrivent les pratiques agricoles comme suit :

\* les surfaces totales et utilisées ;

\* le nombre de serres (tunnels et canariennes) et spéculations cultivées ;

- \* le nombre de passages des outils mécaniques et la possession du matériel du travail du sol ;
- \* les quantités d'eaux d'irrigation ;
- \* les quantités des intrants chimiques (engrais et pesticides) ;
- \* le nombre des heures de travail pour la réalisation des itinéraires sous serre.

### **2.2.1. Test chi deux :**

Ce test a été utilisé pour apprécier l'existence ou non d'une relation entre les variables socioéconomiques de l'agriculteur et les pratiques adoptées. Pour cela, le test de Pearson a été sélectionné à un seuil de signification égale à 0.05.

**Les variables socioéconomiques de l'agriculteur sont :** commune, origine, statut foncier, surface agricole totale et utilisée et nombre des serres tunnels et canariennes.

Ces variables ont présentés des significations différentes selon la pratique en considération :

- La variable commune de l'agriculteur a montré l'existence d'indépendance avec : la durée d'occupation d'une serre sur la même place, type de rotation sous serre, type du fumier organique, méthode de gestion des mauvaises herbes par l'utilisation d'un film plastique pour le désherbage, la culture principale choisie, le mois de semis et de repiquage, l'ébourgeonnage et le critère de pilotage des irrigations. Par contre, il montre une dépendance avec la pratique de traitements phytosanitaires (nombre de traitement, nombre de pesticides, critère de choix de pesticide et la méthode de protection lors de traitement).
- La variable origine de l'agriculteur a attesté l'absence d'indépendance avec toutes les pratiques ; tous les seuils de signification sont supérieurs à 0.05. Donc, l'origine influe l'adoption d'une pratique.
- Le statut de propriété de la terre à une relation avec : la durée d'occupation d'une serre sur la même place, le type de rotation, les itinéraires cultureux (ébourgeonnage et effeuillage). Bien que, n'a pas de relation avec les autres pratiques.
- La surface agricole totale et utilisée présente seulement, une indépendance avec la pratique de traitement phytosanitaire.

- Le nombre des serres est indépendant de la durée d'occupation d'une serre sur la même place, la culture principale, mois de semis, technique de gestion des mauvaises herbes, paramètres de pilotage d'irrigation, nombre de pesticides et le type de fumier organique utilisé.

Donc pour bien comprendre ces relations on va réaliser une analyse ACP.

### 2.2.2. Analyse en composantes principales

Le teste a présenté une dispersion considérable des variables. Mais, avec une valeur de l'indice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), égale à 0,61. On constate que les coefficients de corrélation sont assez forts. Ce qui laisse supposer que l'analyse est pertinente.

#### Détermination des axes principaux

La projection des variables descriptives sur le plan d'analyse en composantes principales a permis d'identifier 4 axes factoriels qui représentent 70.8% de l'information totale de la variance des ensembles des variables. Le tableau 13 montre les valeurs propres expliquées par les axes factoriels. Ces résultats peuvent être expliqués par la présence d'une grande diversification entre les agriculteurs en ce qui concerne l'adoption des pratiques culturales. Cette variabilité est peut être due à la différenciation au sein de l'échantillon, du point de vue spatiale et capacités financières de l'enquêté.

**Tableau13** : Pourcentage d'inertie et valeurs propres des axes de l'ACP

composante	Valeurs propres		
	Total	% de la Variance	Cumulé %
1	3,290	32,898	32,898
2	1,430	14,303	47,201
3	1,232	12,323	59,524
4	1,127	11,266	70,790
5	0,814	8,142	78,932
6	0,654	6,538	85,470
7	0,504	5,041	90,511
8	0,422	4,221	94,732
9	0,362	3,625	98,357
10	0,164	1,643	100,000

Le choix des axes factoriels se fait sur la base de la contribution à l'information des variables. Les axes contribuant le plus à l'information sont celles dont les coordonnées sur cet axe sont proches de la valeur absolue et qui ont une valeur propre supérieure à 1. L'examen du tableau ci-dessus, montre que la variance des exploitations est de 3,3 sur le premier axe (c'est la variance maximale), de 1,43 sur le deuxième axe, de 1,23 sur le troisième axe et de 1,12 sur le quatrième axe. L'inertie totale sur les quatre premiers axes factoriels est de l'ordre de 70.8% (tableau13), en plus les valeurs propres sont supérieures à 1, ce qui nous permet de retenir les quatre premiers axes factoriels.

**Tableau14** : la matrice des composantes de l'ACP

	Composantes			
	1	2	3	4
Surface agricole totale	<b>.875</b>	.041	.209	.200
Surface agricole utile	<b>.864</b>	.162	.223	.026
Nombre des serres tunnels	<b>.691</b>	.260	-.302	-.360
Nombre total de traitements en pesticides	.080	<b>.845</b>	.120	.009
Nombre total de pesticides utilisés	.124	<b>.801</b>	.114	.015
Nombre total de passage des outils mécaniques	<b>.507</b>	<b>.530</b>	-.277	.027
Nombre des serres canariennes	.339	<b>.465</b>	<b>.442</b>	.312
Nombre d'heures par hectare	.106	.131	<b>.830</b>	-.038
Quantité totale d'engrais	.021	.084	.178	<b>.798</b>
Quantité totale des eaux d'irrigation	-.034	.026	<b>.402</b>	<b>-.662</b>

**Le premier axe** : explique 32.9% de l'inertie totale et corrélé avec les variables suivantes : la surface agricole totale SAT ( $r=0.875$ ), la surface agricole utile SAU ( $r=0.864$ ) et le nombre des serres tunnels ST ( $r=0.7$ ).

**Le deuxième axe** : explique 14.3% de la variance et caractérise principalement : le nombre total de traitements en pesticides ( $r=0.845$ ), le nombre total de pesticides ( $r=0.801$ ) et le nombre total de passages par des outils mécaniques lors du travail du sol ( $r=0.53$ ).

**Le troisième axe :** représente 12.32% de l'information totale et corrélé avec le nombre des serres canariennes ( $r=0.44$ ) et le temps de travail ( $r=0.83$ ).

**Le quatrième axe :** indique 11.26% de l'inertie totale de l'ensemble des variables. Cet axe à une corrélation positive avec la quantité totale d'engrais ( $r=0.79$ ) et une corrélation négative avec la quantité totale des eaux d'irrigation ( $r=0.66$ ).

### **2.2.3. Choix d'une classification des exploitations**

La classification hiérarchique de la totalité des variables a permis de sortir 4 classes typologiques selon le degré d'intensification adoptée (figure 15). Ce test a été réalisé en utilisant le logiciel SPSS v. 20, sur la base de la méthode de Ward qui considère la distance euclidienne entre les variables.

**Classe 1 : maraichers de taille moyenne à spéculation diversifiée avec des exploitations moyennement intensifiées (Zab Ouest).**

Cette classe comporte 35 serristes soit 41.17% de l'ensemble des agriculteurs enquêtés. 65.6% se localisent au Zab Ouest dont 89% sont des originaires de Biskra et 71% sont des propriétaires des terres. La surface agricole totale (SAT) est variable mais la surface agricole utile (SAU) ne dépasse pas 20 ha. 71% ont 5 à 20 serres tunnels et seulement deux individus qui possèdent une seule serre canarienne. Ils adoptent les différentes spéculations existantes à Biskra avec 8% qui possèdent des outils de travail du sol. 45.7% appliquent entre 6 et 8 pesticides par saison et le nombre de traitements est variables. 79% impliquent 2 à 4 passages de tracteur pour le travail du sol.

**Classe 2 : grands maraichers à spéculation diversifiée avec des exploitations fortement intensifiées (Zab Est).**

Cette classe est composée de 16 producteurs maraichers soit 18.82% de l'échantillon total. 94% appartiennent au Zab Est et sont originaires de Biskra avec des SAT allant de 6 à plus de 50ha. Les propriétaires représentent 75%, ils disposent de 50 à 200 serres tunnels (62%) et de plus de 4 serres canariennes (50%) par exploitation. L'acquisition des machines est environ de 70% et jusqu'à 7 passages de tracteurs par saison sont appliqués. Cette classe est caractérisée par la diversification des spéculations et la multiplication des rotations. Le nombre total de pesticides peut atteindre 20 pour la réalisation jusqu'à plus de 53 traitements phytosanitaires par saison. Les quantités des engrais et des

eaux d'irrigation sont surestimées ; elles peuvent atteindre jusqu'à 6000 Kg et 13000 m<sup>3</sup> par hectare, respectivement.

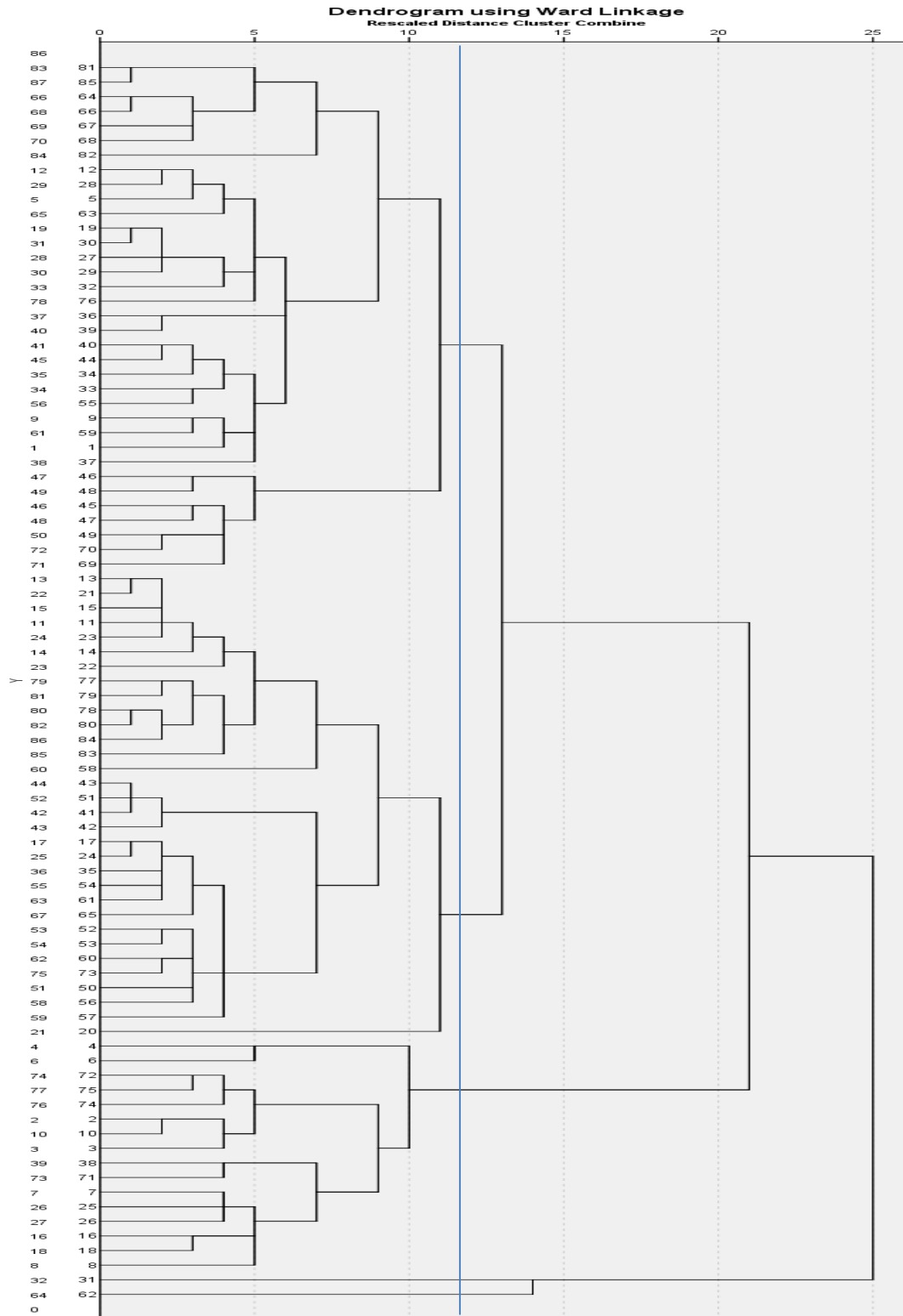
### **Classe 3 : petits maraichers spécialisés avec des exploitations faiblement intensifiées**

Cette classe est constituée de 32 serristes basés essentiellement dans les communes de Lioua et Ainnaga soit 37.64% de la population concernée par cette enquête. Ils sont 69% Biskris et 31% étrangers. Concernant les surfaces, 80% ne dépassent pas 10 ha en SAT et 93% ne dépassent pas 5 ha en SAU. 63% sont des locataires ou des associés dont 90% gèrent entre 5 et 20 serres. Ils sont beaucoup plus spécialisés dans la tomate avec un faible nombre de serres consacrées à d'autres cultures qui entre en rotation avec la culture de la tomate. Le nombre de passages pour le travail du sol est entre 2 et 3 avec un pourcentage de 65% due à un degré de mécanisation faible (12%). L'application des engrais et des irrigations est caractérisée par une variabilité considérable. 50% utilisent de 6 à 8 produits phytosanitaires et jusqu'à 34 fois par campagne.

### **Classe 4 : grands maraichers spécialisés avec exploitations fortement intensifiées**

Elle comporte 2 producteurs maraichers localisés au Zab Est (1 de la commune de M'ziraa et l'autre de la commune de Sidi Okba) représentent 2.35% des serristes enquêtés. Ils possèdent une surface agricole totale qui dépasse les 50 ha, qui est dépourvue des serres tunnels, cependant, le nombre des serres canariennes peut atteindre 20 serres. Ils sont spécialisés dans le melon et la tomate de plusieurs variétés dont la production dépasse 150 T/ha. De 11 à 41 traitements par saison plus 16 pesticides, et de 3 à 5 passages des outils mécaniques.

Le logiciel statistique a rangé les individus de cette dernière classe séparément, nous les avons intégrés en une seule classe au vu de quelques ressemblances qu'ils présentent (l'un est spécialisé dans la tomate et l'autre est spécialisé dans le melon).



**Figure 15** : arbre hiérarchique des classes typologiques des exploitations enquêtées

## Conclusion

L'agriculture dans la zone d'étude rencontre de multiples risques, la majorité des agriculteurs interrogés se plaignent que la faiblesse de la main-d'œuvre qualifiée représente la menace la plus courante pour la production de légumes protégés. Les autres risques perçus étaient les ravageurs et les maladies des plantes, les problèmes financiers comme le coût élevé des semences et des produits agrochimiques, la non-disponibilité de l'eau d'irrigation et l'absence d'organisation du marché.

Une typologie d'intensification a été élaborée en nous basant sur six variables qui sont les plus déterminantes de l'état des pratiques agricoles dans la région de Biskra. Ces paramètres sont : les surfaces totales et utilisées ; le nombre des serres ; le nombre de passages des outils mécaniques ; les quantités des eaux d'irrigation ; les quantités des intrants chimiques (engrais et pesticides) ; le nombre des heures de travail pour la réalisation des itinéraires sous serre.

Cette typologie nous permet de distinguer entre quatre classes d'exploitations:

- grands maraichers spécialisés avec exploitations fortement intensifiées
- petits maraichers spécialisés avec des exploitations faiblement intensifiées
- grands maraichers à spéculations diversifiées avec des exploitations fortement intensifiées.
- maraichers de taille moyenne à spéculations diversifiées avec des exploitations moyennement intensifiées.

L'examen minutieux de ces résultats nous inspire que le paramètre essentiel déterminant de l'intensification est le type de structure de serre. De ce fait, il est intéressant de poser la question sur l'état de durabilité de chaque structure à savoir ; le tunnel ou la canarienne. En deuxième lieu quels sont les indicateurs les plus convenables pour la caractérisation de ces deux structures en prenant en compte la complexité du système de production maraichère sous serre dans une région aride comme la wilaya de Biskra.



## **Chapitre IV : Evaluation de la durabilité du système de production maraichère sous serre dans la région de Biskra**

### **Introduction**

Au cours des deux dernières décennies, l'Algérie a connu un développement agricole remarquable poussé par une prospérité dans la plasticulture en raison des conditions climatiques favorables et de la politique du gouvernement. En raison de cette évolution, la wilaya de Biskra devient le premier producteur de légumes à l'échelle nationale (Allache et al., 2015) où la superficie occupée par la serre a augmenté de 528,52% au cours des 20 dernières années (Belhadi et al., 2016) .

Evidemment, chaque nouveau système agricole peut avoir un impact économique, social ou environnemental. Pour cela, plusieurs études ont été menées sur les cultures sous serre à Biskra qui ont été focalisées sur le statut économique et la gestion des ravageurs (Daoudi et Colin, 2016; Rekibi, 2015; Allache et al., 2015). Néanmoins, la durabilité du système de culture protégé n'a pas encore été évaluée. En premier lieu les agriculteurs ont utilisé une structure de serre à tunnel unique (ST). Au cours de la dernière décennie, la structure des serres canariennes a été introduite.

Dans cette optique, la présente étude aborde la recherche d'une structure de serre (Tunnel ou Canarien) qui préserve la durabilité de l'agriculture selon les conditions locales dans la Wilaya de Biskra en utilisant le processus d'analyse hiérarchique multicritères (AHM), et en deuxième lieu l'évaluation de la durabilité agricole en se basant sur des indicateurs.

### **I.Evaluation de la durabilité des structures de serres agricoles par l'utilisation du processus d'analyse hiérarchique multicritères (AHM).**

#### **1. Méthodologie**

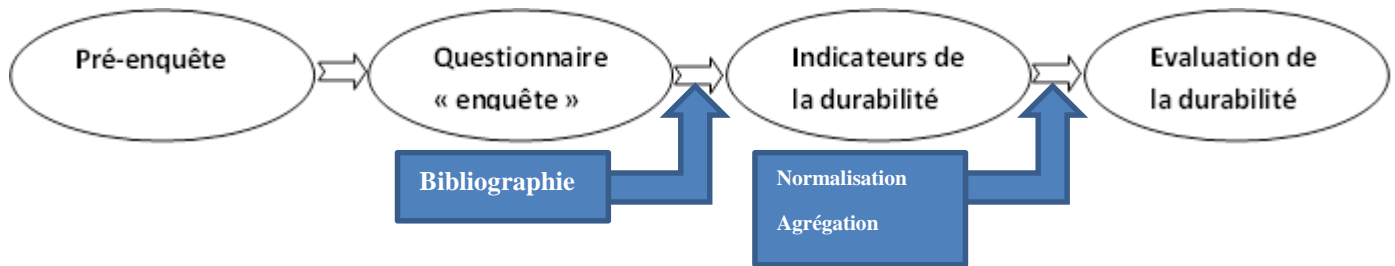
Cette section développe les méthodes utilisées dans cette étude. L'enquête et les groupes impliqués dans ce travail sont présentés, suivis par la description des alternatives et la présentation d'analyse hiérarchique multicritères. La dernière section définit les critères utilisés pour déterminer quelle solution est appropriée dans la région.

### **1.1.Cadre méthodologique de structuration des indicateurs de durabilité dans les régions arides (figure 16) :**

La construction des indicateurs sur les trois piliers de la durabilité (économique, sociale et environnementale) est déroulée selon les étapes suivantes :

- a) Dans la première étape, les indicateurs sont construits en fonction d'un examen approfondi de la littérature des articles traitant le sujet, à partir de laquelle nous avons recueilli les indicateurs utilisés dans les études précédentes.
- b) La deuxième étape de la sélection des indicateurs est basée sur une étude de terrain prenant en compte les pratiques agricoles des agriculteurs appliquées dans chaque région particulière, combinée à des entretiens avec l'acteur le plus pertinent impliqué dans le système de production « chercheurs, agriculteurs et gestionnaires ».
- c) Ensuite, nous effectuons une analyse multi variée pour comprendre les interrelations entre les indicateurs sélectionnés en utilisant l'analyse des composantes principales ; donc, une matrice de corrélation a été préparée sur la base du coefficient de corrélation ( $r$ ).
- d) Après, nous avons effectué une normalisation des données pour l'homogénéisation des unités de mesure pour être comparable en utilisant la méthode Min-Max, de sorte que les valeurs de tous les indicateurs normalisés varient dans une plage sans dimension (0, 1) où 0 correspond à la mauvaise valeur possible de la durabilité (C'est-à-dire le moins durable) et 1 au meilleur (le plus durable).
- e) Les indicateurs défavorisant la durabilité agricole sont considérés négatifs (les indicateurs environnementaux).
- f) À cet égard, nous proposons 09 indicateurs (tableau 17) qui représentent la complexité du système agricole de production légumière dans le Sud-est de l'Algérie.
- g) La pondération de l'indicateur composite est effectuée sur la base de deux approches :
  - Tous les indicateurs sont considérés comme ayant le même poids pour contribuer à la durabilité agricole, comme assumé par Kwatra et al., (2015); Praneetvatakul et al., (2001).
  - En utilisant l'analyse hiérarchique multicritères (AHM).
- h) Enfin, l'indice de durabilité agricole (IDA) a été calculé en utilisant la moyenne des indices environnementaux, sociaux et économiques pour différents agriculteurs.

- i) **Évaluation de la durabilité** : Dans en premier lieu on va déterminer la méthode la plus adaptée à la région, puis en utilisant les indicateurs pré définis pour apprécier l'état de la durabilité de la plasticulture à Biskra.



**Figure 16** : Méthodologie de travail

### 1.2.Enquête

Les agriculteurs sont l'acteur le plus important qui devrait avoir une opinion forte dans le choix d'une structure de serre appropriée pour l'agriculture durable. Par conséquent, une enquête a été menée dans la Wilaya de Biskra pendant la saison 2014-2015. L'étude a utilisé des interviews personnelles à l'aide de questionnaires composés de 08 sections qui fournissent des informations sur les pratiques agricoles et les modes de gestion des serres. Les données ont été recueillies auprès de 85 agriculteurs sélectionnés aléatoirement parmi les six communes les plus productives, à savoir: M'ziraa, Ainnaga, Sidi Okba, Elaghrous, Doucen et Lioua (voir le chapitre III).

Parallèlement, une autre discussion a été développée avec 10 spécialistes agricoles de la région des différentes organisations locales (département d'agronomie de l'université de Biskra, institut national de protection des végétaux, centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides, direction des services agricoles, agents technico-commerciaux). Ils ont été impliqués parce qu'ils sont des décideurs, des gestionnaires, des chercheurs et des dirigeants de plans de développement agricole et ils ont aussi plus de 20 ans d'expérience.

### **1.3.Présentation de l'AHM**

L'AHM est une méthode d'analyse multicritères qui a été inventée par le mathématicien Thomas Saaty pendant les années soixante-dix (Saaty et al, 2006). Elle est destinée à aider le décideur à affiner son processus de décision en examinant la cohérence et logique de ses préférences. C'est une méthode qui peut être utilisée dans la quantification des critères qualitatifs, par le biais de sa pondération. Elle a déjà été appliquée dans différents domaines avec succès (Ramos et al 2014 ; Pugnet et al, 2013 ; Vijayakumar et al, 2010 ; Tacnet, 2009; Le Gallic et al, 2006). Cette méthode est capable d'identifier et prendre en considération les incohérences des décideurs.

#### **1.3.1. Principes fondamentaux de l'AHM**

L'AHM est une méthodologie rigoureuse qui se divise en une série d'étapes importantes, à savoir: la structuration de la hiérarchie, l'établissement des priorités et la vérification de la cohérence logique de l'analyse (Saaty, 2008).

#### **1.3.2. Établissement de la structure hiérarchique**

C'est une étape primordiale dans l'analyse d'un problème. A cet effet, il est important de fournir plus de détails à la hiérarchie pour avoir une bonne capacité d'analyse et un bon esprit de synthèse. Si l'analyse donne des résultats peu satisfaisants ou si la matrice se révèle incohérente, la méthode nous permet de modifier les intrants ou d'ajouter d'autres critères.

La structuration de la hiérarchie consiste à définir une arborescence hiérarchique de trois niveaux où l'objectif se trouve au niveau supérieur, les critères de sélection au niveau intermédiaire et les alternatives dans le niveau inférieur. Les niveaux d'une hiérarchie sont interconnectés entre eux (Saaty, 2008).

#### **1.3.3. Établissement des priorités**

Cette étape s'appuie essentiellement sur la comparaison binaire des différents éléments de la hiérarchie tout en alliant la pensée logique à l'expérience. La matrice présente le cadre le plus efficace pour effectuer de telles comparaisons. Cette matrice (Tableau 15) permet d'évaluer l'importance relative d'un élément ( $A_n$ ) par rapport à l'autre en utilisant une échelle appropriée. Le tableau 15 présente une échelle de pondération donnée par Saaty.

Une fois la matrice de comparaison remplie, il faut calculer le vecteur propre (poids) de chacun des éléments de la hiérarchie. A cet effet, il faut additionner d'abord les valeurs de chaque colonne de la matrice. Ensuite, il faut diviser toutes les entrées de chaque colonne par le total de cette colonne pour obtenir une matrice normalisée qui permet des comparaisons significatives entre les éléments. Finalement, il faut calculer la moyenne des lignes en additionnant les valeurs figurant sur chaque ligne de la matrice normalisée et divisant ces lignes par le nombre d'entrées qu'elles comportent. Ces opérations débouchent sur un vecteur propre global pour le niveau le plus bas de la hiérarchie.

Notons ici que tous ces calculs sont effectués par le logiciel *Super Décision*, qui est un logiciel gratuit et construit selon la logique d'évaluation de Saaty.

Le vecteur propre indique l'ordre de priorité ou la hiérarchie des différents éléments étudiés. Ce résultat est important pour l'évaluation de la probabilité, puisqu'il sera utilisé pour indiquer l'importance relative de chaque élément opérant.

#### **1.3.4. Cohérence de jugements**

Il arrive à l'occasion que la méthode AHM offre la possibilité de savoir combien les jugements posés sont cohérents. De ce fait, la première étape du calcul de la cohérence globale consiste à prendre la matrice originale, c'est-à-dire celle de l'entrée de données, et de la multiplier par les priorités relatives finales issues de la dernière étape de l'extraction des vecteurs propres. Il faut ensuite faire le total des valeurs pour chacune des lignes de la nouvelle matrice. Troisièmement, le total de chacune des lignes sera divisé par la valeur du vecteur propre qui lui est associée. En quatrième lieu, il suffit de calculer la moyenne des valeurs obtenues à l'étape précédente. Le résultat de ce calcul est représenté par  $\lambda_{\max}$ . À ce stade, l'indice de cohérence (IC) est défini par l'équation 1.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Eq. 1}$$

où  $n$  est le nombre de critères comparés.

Le ratio de cohérence (RC) est le rapport entre IC et un indice de cohérence aléatoire (CA) (Éq. 2).

$$RC = \frac{IC}{CA} \leq 0,1 \Rightarrow \text{on accepte la matrice} \quad (\text{Eq. 2}).$$

L'indice CA, présenté dans le Tableau 16, est issu d'un nombre élevé de répliques. On considère comme acceptable un ratio de cohérence inférieur à 0,10.

**Tableau15** : Échelle proposée par Saaty

Degrés d'importance de chaque caractéristique	Définition	Explication
1	Importance égale	Deux caractéristiques contribuent de la même façon à l'objectif.
3	Faible importance d'une caractéristique par rapport à une autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement une caractéristique par rapport à une autre.
5	Importance forte ou déterminante	L'expérience et l'appréciation favorisent fortement une caractéristique par rapport à une autre.
7	Importance très forte ou attestée	Une caractéristique est fortement favorisée et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Importance absolue	Les preuves favorisant une caractéristique par rapport à une autre sont aussi convaincantes que possible.
2, 4, 6, 8	Valeurs associées à des jugements intermédiaires	Lorsqu'un compromis est nécessaire.

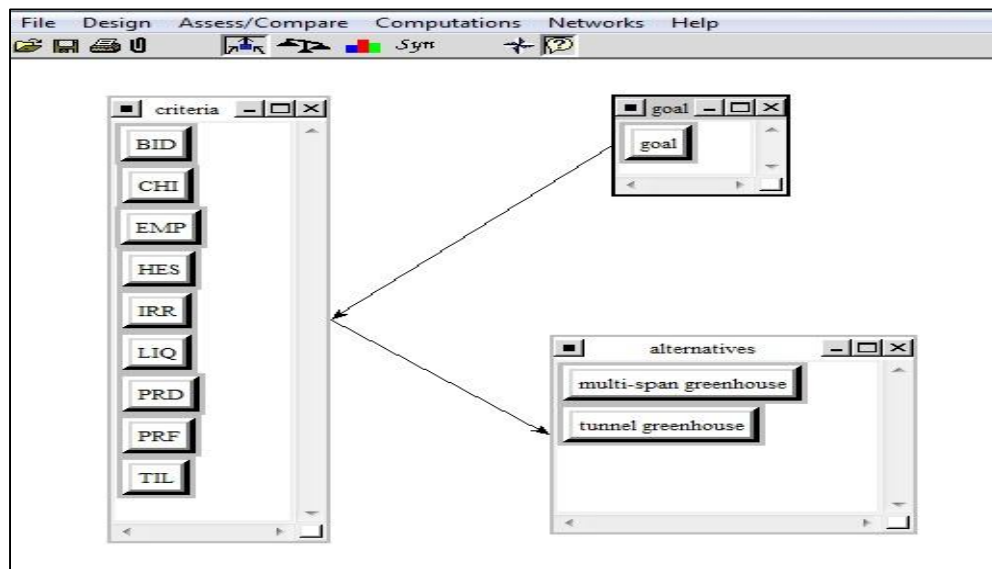
**Tableau16** : Valeurs de l'indice de cohérence aléatoire (CA) en fonction de l'ordre de la matrice

Ordre de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

#### 1.4.Présentation du Logiciel Super Décisions

Le logiciel *SuperDecision* (CDF, 2001) est utilisé pour la prise de décision avec dépendance et rétroaction. Il met en œuvre le processus hiérarchique multicritères (AHM) et le processus de réseau analytique. Ce logiciel fournit des outils pour créer et gérer des modèles AHM, saisir des jugements, obtenir des résultats et effectuer une analyse de sensibilité sur les résultats. Il soutient également des modèles complexes à multi niveaux BOCR (Bénéfices - Opportunités - Coûts - Risques). Les modèles varient en complexité d'un réseau unique, des réseaux avec deux couches à des réseaux complexes à plusieurs niveaux. Chaque réseau d'un modèle se trouve dans une fenêtre distincte. La construction de modèles commence toujours par la création d'un réseau simple de clusters, d'éléments à l'intérieur de clusters et d'établissement de liens entre les éléments (ce qui provoque un lien permettant de visualiser les clusters).

La figure 17 montre un modèle à trois clusters réalisé par l'utilisation d'un logiciel de l'aide à la prise de décision « *SuperDecision* » (CDF, 2001). Ce modèle a été utilisé dans notre étude.



**Figure 17** : Modèle à trois réseaux sur *SuperDecision* (source : notre modèle).

## **1.5.Alternatives**

Biskra, qui se concentrait sur les palmiers dattiers, se spécialise aujourd'hui également dans les légumes sous serre et assure 32% de la production nationale en une décennie (Daoudi et Colin, 2016). Selon Belhadi et al., (2016), le système de culture protégé génère le premier revenu pour l'agriculteur avec 41,13% avant le palmier dattier. Ces observations nous ont amené à conclure que le système de culture protégé est très important dans cette région, donc ce travail est consacré à étudier sa durabilité.

Dans cette région, la serre existante est principalement des tunnels simples qui sont souvent regroupés en plus grand nombre et récemment il y a eu apparition de serres canariennes (SC) où chaque type a des caractéristiques spécifiques. De plus, la construction des SC est une activité qui a besoin d'un capital et d'une expérience importants où les cultivateurs demandent des constructeurs qualifiés dont la majorité vient du Maroc.

Le présent travail se concentrera sur la désignation d'une structure de serre (tunnel ou canarienne) qui serait économiquement viable, écologiquement rationnelle et socialement responsable.

### **1.5.1. Alternative 1: serre tunnel (ST)**

La ST est la structure commune dans toute la Wilaya et couvre une surface de 3549,84 ha pour les six communes choisies (DSA, 2012). Il s'agit pour chaque serre tunnel, d'une succession d'arcs forcés dans le sol, recouverts d'un film plastique Elles présentent une dimension standard à travers une largeur de 8 mètres et une longueur de 50 mètres (surface de 400 m<sup>2</sup>). Cependant, il existe certains problèmes, tels que la difficulté de mouvement à l'intérieur, l'absence de bonne ventilation naturelle et la prolifération des maladies fongiques en raison des dimensions étroites (hauteur de 3 m) et de la faible transmission de la lumière.

### **1.5.2. Alternative 2: Serre canarienne (SC)**

Présente exclusivement dans les trois communes de l'Est: M'ziraa, Ainnaga et Sidi Okba avec une superficie de 24,76 ha (DSA, 2012), ce type est fait d'une structure métallique sur laquelle une grille rigide de fil est placée pour attacher le film plastique et l'insecte proof. Les



surfaces sont variables selon la capacité financière du propriétaire de 2500 à 10000 m<sup>2</sup>. La plupart des serres sont équipées d'une technologie sophistiquée, avec des systèmes de ventilation plus efficaces et permettent un passage facile des machines mécaniques.

### **1.6.Choix des indicateurs**

Le terme «critère ou indicateur» est souvent vague, hétérogène et variable dans le temps et dans l'espace (Roy et Chan, 2012). Les indicateurs varient selon les pays, les régions et les stades de développement; Par conséquent, les indicateurs utilisés dans un système ne sont pas nécessairement applicables à d'autres systèmes (Qiu et al, 2007, Rasul et Thapa, 2004).

Cette étape est la plus importante, pour créer un modèle de préférence. Le choix des critères consiste à déterminer les indicateurs qui pourraient être utilisés pour mesurer la durabilité de la structure de serre. L'élaboration de ces critères devrait être faite avec les principaux acteurs impliqués dans le système de production agricole, qui sont les agriculteurs et les spécialistes de l'agriculture. Sur la base d'une enquête et une revue de la littérature, les indicateurs ont été sélectionnés.

À la fin de cette étape, neuf critères ont été choisis de manière appropriée avec les conditions locales, y compris la productivité, la rentabilité, l'emploi, les intrants chimiques, le travail du sol, le système d'irrigation, la biodiversité, la qualité de vie et la sécurité sanitaire. Ces critères pourraient être classés en trois grandes dimensions de durabilité, à savoir: économique, social et écologique qui seront brièvement décrit ci-dessous (Tableau 17) :

#### **1.6.1. Critères économiques:**

Plusieurs indicateurs économiques ont été pris en compte dans de nombreuses études. Une analyse a montré qu'un système agricole est viable sur le plan économique s'il est rentable (Castoldi and Bechini, 2010; Bechini and Castoldi, 2009; Meul et al., 2008; Rasul and Thapa, 2004) ; productive (Meul et al., 2008) et augmente l'emploi (Gomez-Limon and Riesgo, 2009).

**A. Productivité (PRD):** Les rendements en serre ont été estimés par exploitation. Pour les agriculteurs, la PRD présente le critère le plus important.

**B. Rentabilité (PRF):** Représentée par la marge brute (MB) : il s'agit de la différence entre le revenu brut (RB) et les charges variables (CV). Le RB est calculé en utilisant les quantités de production multipliées par le prix de vente moyen local. CV (DA/ha): comprennent, l'achat de semences, de pesticides, d'engrais, de consommation de carburant, de transport, de réseau d'irrigation et de main-d'œuvre occasionnelle consacrée à la culture. Ce critère contribue grandement au renforcement du statut financier et social des agriculteurs.

**C. Emploi (EMP):** Indique le nombre de travailleurs saisonniers et permanents impliqués pendant une saison. Les entretiens avec les agriculteurs révèlent que le marché du travail reste faible et instable, ce qui constitue une menace majeure pour la durabilité agricole à Biskra. Pour cela, cet indicateur est exprimé par le nombre total d'heures par hectare réalisées dans les pratiques agricoles. Cet indicateur reflète la complexité de la gestion des cultures.

### **1.6.2. Critères écologiques**

**A. Les intrants chimiques (CHI):** comme considéré par Gomez-Limon et Riesgo, (2009) ; Meul et al. (2008) ; Geng et al., (2014) et Reig-Martinez et al., (2011), ce critère a été pris dans notre étude. C'est la quantité d'engrais et de pesticides utilisés pendant la saison. Les sols de la région de Biskra se caractérisent par une faible fertilité, de sorte que les engrais sont de plus en plus utilisés et les facteurs climatiques locaux contribuent à l'invasion des ravageurs et des maladies, ce qui induit une forte utilisation de pesticides. Néanmoins, ces apports chimiques ont un effet néfaste sur l'environnement et sur la santé humaine, donc sur la durabilité de l'activité agricole (Patra et al., 2016 ; FAO, 1998). Au vu de ses implications, ce critère est fractionné en deux composantes :

\* Quantité totale des engrais utilisés par hectare (ENG).

\* Pesticides (PEST): Dans ce document nous quantifions le nombre total de traitements de pesticides appliqués par hectare cultivé.

**B. Le travail du sol (TIL):** Principalement les exploitations visitées ont un sol fragile ce qui signifie que les passages fréquents du tracteur provoquent la formation d'une semelle de labour, donc le nombre de passages de tracteur a été calculé pour une saison. Les agriculteurs visités utilisent une charrue à socs comme premier outil de labour puis, dans certains cas; ils

utilisent une charrue à disques, un cultivateur rotatif (rotavator) et une billonneuse. Ces pratiques participent certainement à la dégradation des sols (Vian, 2009). Sydorovych et Wossink, (2008) prennent en compte la qualité du sol (état physique, chimique et biologique) dans les indicateurs écologiques.

**C. Système d'irrigation (IRR):** La majorité des agriculteurs utilisent l'irrigation goutte à goutte. C'est le système le plus économique en terme de consommation en eau qui permet une conservation des ressources hydriques, mais la consommation est différente d'un agriculteur à un autre et d'une structure à une autre (Geng et al., 2014 ; Gomez-Limon et Riesgo, 2009 ; walter et Stützel , 2009).

Les quantités d'eau consommées sont estimées sur la base de pilotage d'irrigation par les enquêtés ; en connaissant les fréquences et les durées des irrigations. En plus, une mesure de débit des goutteurs a été effectuée sur un échantillon de 10 exploitations en parallèle avec l'enquête.

**D. Biodiversité (BID):** l'indicateur de la biodiversité a été étudié par de nombreux travaux tels que: Rasul et Thapa (2004) ; Gomez-Limon et Riesgo (2009) ; Sydorovych et wossink (2008) et Pacini et al. (2003). Il exprime la présence d'autres cultures dans la ferme en plus de la culture sous serre. Les agriculteurs cultivent d'autres cultures afin d'assurer un revenu supplémentaire. La diversité est un concept clé de la durabilité. Plus un agro système est diversifié, moins il y a risque de déséquilibre.

### **1.6.3. Critères sociaux**

**A. Sécurité sanitaire (HES):** Ce critère montre l'effet toxique sur le travailleur lors de l'application des pesticides. Il n'y a pas de moyen d'évaluer la toxicité qui nous amène à adopter le degré de protection du travail comme échelle d'évaluation. Ainsi, cinq catégories ont été enregistrées, à savoir:

- 1- Aucun moyen de protection ;
- 2- Masque ;
- 3- Masque + gants ;
- 4- Masque + lunette ;

5- Tenue de protection complète.

**B. Qualité de vie (LIQ):** C'est le bien-être général des agriculteurs et de leurs familles. Deux classes d'agriculteurs ont été distinguées, les petits exploitants, qui représentent la majorité, vivent dans des conditions difficiles, et les grands investisseurs avec un bon niveau de vie.

Généralement cet indicateur est considéré comme le rapport entre le revenu net et le nombre de ménages. Toutefois, du fait de l'insuffisance des résultats sur la composition des ménages, nous avons supposé un nombre prédéfini pour les ménages.

**Tableau17 :** Ensemble d'indicateurs choisis pour la mesure de la durabilité agricole

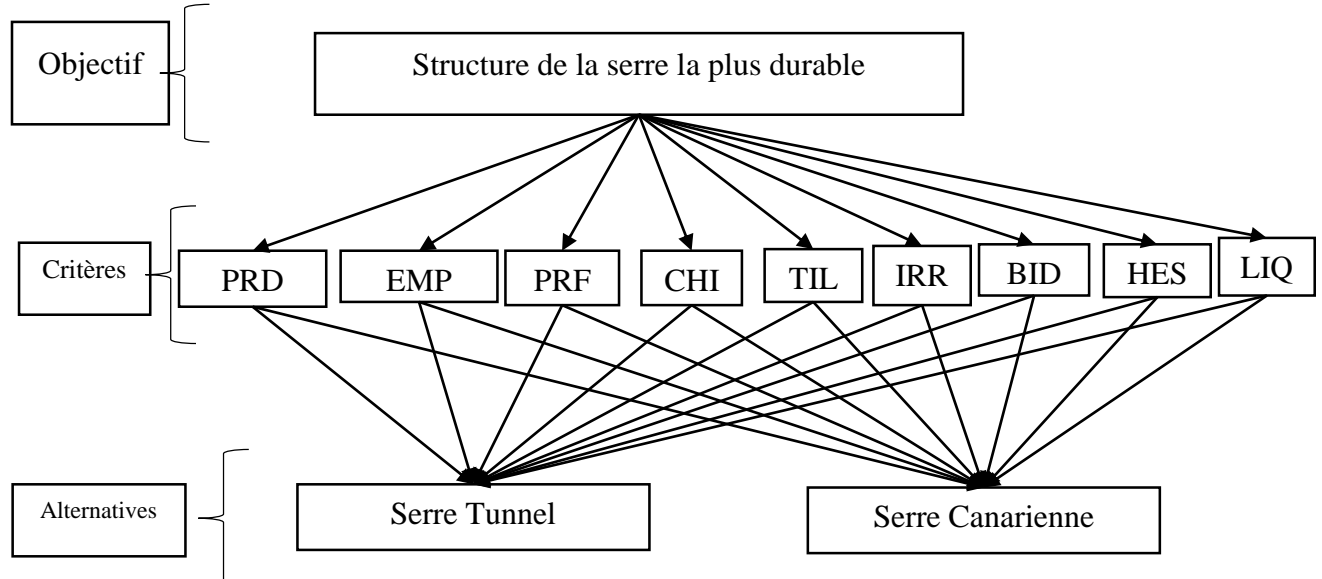
Dimensions	indicateurs	Unités de mesures
Economique	Productivité (PRD)	Kg ha <sup>-1</sup>
	Rentabilité (PRF)	DA ha <sup>-1</sup>
	Emploi (EMP)	Heures
Social	Qualité de vie (LIQ)	DA
	Sécurité de la santé des agriculteurs (HES)	Classes
Environnemental	Les intrants chimiques (CHI)	
	- Quantités des engrais	Kg ha <sup>-1</sup>
	- Pesticides	N° de traitements
	Biodiversité (BID)	N° de cultures
	Le travail du sol (TIL)	N° de passages
	Système d'irrigation (IRR)	M <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>

## 2. Résultats et discussion

### 2.1.Établissement de la structure hiérarchique

Dans le cadre de la première phase de la méthode AHM, un modèle de structure hiérarchique a été mis en place dans le but de déterminer les alternatives les plus durables (serre tunnel ou canarienne) à travers neuf critères appartenant aux piliers environnementaux, sociaux

et économiques de la durabilité. La figure 18 montre les différentes composantes de cette hiérarchie.



**Figure 18** : Structure hiérarchique pour la sélection d'une structure de serre durable (source : notre modèle)

## 2.2. Comparaison par paire

En tant que système d'aide à la décision, le logiciel *Super Décision* a été utilisé pour l'accomplissement de la AHM. Tout d'abord, 36 questions résultent de la comparaison par paires de neuf critères de façon que chacun des deux critères soit considéré comme une question (voir annexe 03). Par la suite, le participant a indiqué l'importance relative d'un élément l'un par rapport à l'autre et par rapport à l'objectif global, en se fondant sur une échelle appropriée (tableau 15). Ensuite, pour trouver les réponses de compromis entre les personnes interrogées, les moyennes géométriques ont été calculées pour chaque question. Par conséquent, la matrice de comparaison a été introduite dans le système d'aide à la décision pour produire des poids de critères à chaque niveau de la hiérarchie. Enfin, les auteurs ont fait la comparaison, avec compromis, entre les alternatives (SC et ST structure) par rapport à chaque critère basé sur les données recueillies au cours de l'enquête.

## 2.2.1. Les agriculteurs

### 2.2.1.1. Matrice de poids

Après une comparaison par paires de tous les éléments de la structure hiérarchique, une matrice de poids a été construite (Tableau 18).

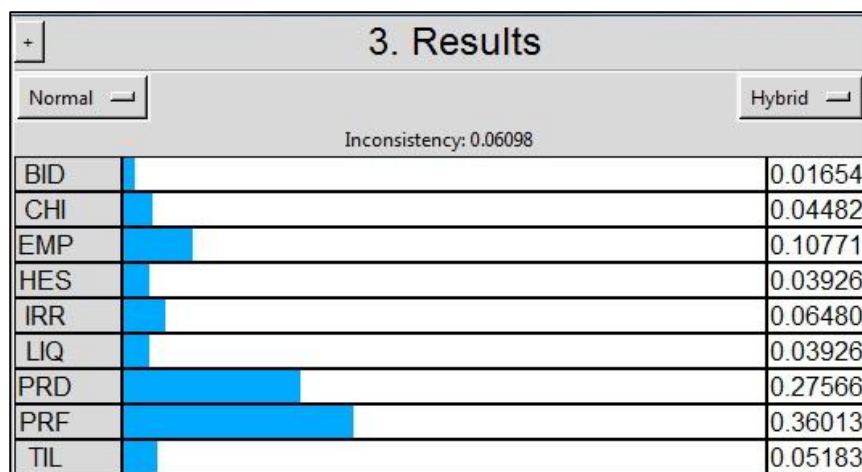
**Tableau18** : Matrice de la comparaison par paires de critères pour les agriculteurs

	BID	CHI	EMP	HES	IRR	LIQ	PRD	PRF	TIL
BID	1	0,25	0,143	0,25	0,2	0,25	0,125	0,111	0,2
CHI	4	1	0,333	1	0,333	1	0,143	0,125	2
EMP	7	3	1	3	2	3	0,2	0,167	4
HES	4	1	0,333	1	0,5	1	0,167	0,143	0,5
IRR	5	3	0,500	2	1	2	0,143	0,125	1
LIQ	4	1	0,333	1	0,5	1	0,167	0,143	0,5
PRD	8	7	5	6	7	6	1	0,5	6
PRF	9	8	6	7	8	7	2	1	7
TIL	5	0,5	0,25	2	1	2	0,167	0,143	1

Cette opération a été effectuée en fonction de l'expérience et du point de vue des agriculteurs. Au cours de l'enquête, il était difficile d'évaluer explicitement l'importance de chaque élément par rapport à l'autre (comparaison par paire) des agriculteurs en raison de leur faible niveau d'éducation, ainsi, les réponses étaient implicitement définies. Ensuite, la normalisation des critères est effectuée par le calcul du vecteur propre pour chacun (tableau 19)

**Tableau19** : Valeur propre de chaque critère pour les agriculteurs

Nom	Poids
BID	0.01654
CHI	0.04482
EMP	0.10771
HES	0.03926
IRR	0.06480
LIQ	0.03926
PRD	0.27566
PRF	0.36013
TIL	0.05183



**Figure 19 :** Résultat des valeurs propres affichées sur *SuperDécisions*

Selon le tableau 19 et la figure 19 la valeur propre pour la structure de serre la plus durable se présente dans l'ordre suivant: rentabilité (36%), productivité (28%), emploi (10%), irrigation (6%), travail du sol (5%), intrants chimiques (5%), sécurité sanitaire (4%), qualité de vie (4%) et biodiversité (2%). Il semble que les critères économiques (productivité, rentabilité et emploi) présentent les indicateurs les plus importants pour les agriculteurs, puisque la somme de leurs valeurs propres est supérieure à 74%. En conséquence, la durabilité de la culture protégée à Biskra est très liée à l'efficacité économique. Ce résultat montre que l'impact écologique et social de cette activité agricole est ignoré par les agriculteurs. Par conséquent, la structure de serre la plus appropriée pour eux est celle qui a des avantages économiques.

### 2.2.1.2. Comparaison de la structure de serre durable par rapport aux critères

Nous avons évalué chaque type de serre par rapport chaque critère. Le tableau 20 donne le vecteur propre (poids) des deux structures de serre.

**Tableau20 :** Score moyen de chaque structure de serre pour les agriculteurs

Nom	Poids
Serre Canarienne	0,722127
Serre tunnel	0,277873

Comme le montre le tableau 20, la SC présente la structure la plus durable avec un score de 72% en comparaison avec ST. Ces résultats pourraient être expliqués par des rendements importants

enregistrés avec SC comme première raison, de plus la main-d'œuvre préfère travailler sous ce type de structure en raison de la facilité durant la réalisation des pratiques culturales par rapport à la structure ST.

## 2.2.2. Spécialistes agricoles

### 2.2.2.1. Matrice de poids

Chaque spécialiste a reçu 36 questions directes qui présentent la comparaison par paires de neuf critères sélectionnés de manière à traiter chacun des deux critères comme une question (voir annexe 03). Puis, la moyenne géométrique a été calculée pour trouver la réponse de compromis pour chaque question des participants. Par conséquent, la matrice de comparaison a été introduite dans le système d'aide à la décision pour produire des poids de critère à chaque niveau de la hiérarchie. Le tableau 21 et le tableau 22 illustrent la matrice des critères de comparaison par paires et le poids de chaque critère, respectivement selon les spécialistes agricoles.

**Tableau 21** : Matrice des critères de comparaison par paires pour les spécialistes agricoles

	BID	CHI	EMP	HES	IRR	LIQ	PRD	PRF	TIL
BID	1	2	0,25	2	0,5	0,3333	0,1667	0,1667	0,1667
CHI	0,5	1	0,1667	2	0,2	0,5	0,1429	0,125	0,1429
EMP	4	6	1	3	1	1	0,3333	0,25	0,25
HES	0,5	0,5	0,3333	1	0,1111	0,2	0,2	0,1667	0,125
IRR	2	5	1	9	1	2	0,1667	0,1429	1
LIQ	3	2	1	5	0,5	1	0,25	0,1667	0,25
PRD	6	7	3	5	6	4	1	0,3333	5
PRF	6	8	4	6	7	6	3	1	5
TIL	6	7	4	8	1	4	0,2	0,2	1



**Tableau22** : Vecteur propre de chaque critère pour les spécialistes agricoles

Nom	Poids
BID	0,0312
CHI	0,0230
EMP	0,0725
HES	0,0211
IRR	0,0845
LIQ	0,0557
PRD	0,2388
PRF	0,3389
TIL	0,1343

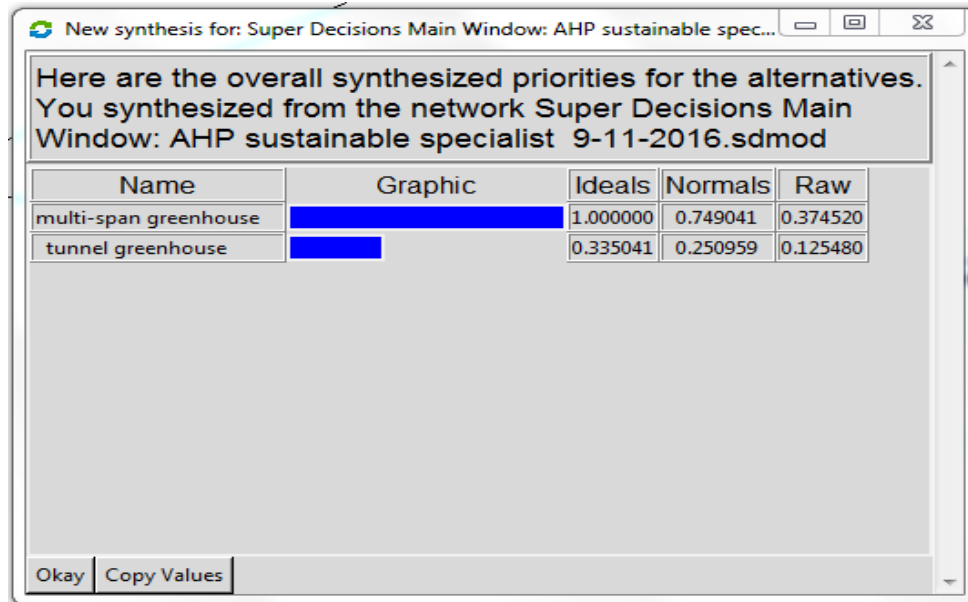
Dans le tableau 22, le vecteur propre aux critères choisis est classé comme suit: rentabilité (34%), productivité (25%), travail du sol (13%), système d'irrigation (8%), emploi (7%), qualité de vie 6%), biodiversité (3%), sécurité sanitaire (2%) et intrants chimiques (2%).

Similaire au cas des agriculteurs, les spécialistes agricoles ont favorisés des critères économiques (productivité, rentabilité et emploi) avec un score global de plus de 66%. Les indicateurs environnementaux (labour et système d'irrigation) présentent une certaine augmentation avec une valeur de 21% par rapport aux agriculteurs. Par conséquent, la structure de serre la plus appropriée pour les spécialistes de l'agriculture serait économiquement viable et légèrement écologiquement saine. La tendance des spécialistes agricoles est légèrement différente de celle des agriculteurs, ce constat s'explique par la pénurie d'études dans ce domaine qui démontre l'impact de la production végétale protégée sur les dimensions environnementales et sociales à Biskra, ce fait a conduit le spécialiste agricole à faire un choix approximativement semblable au point de vue des agriculteurs.

#### **2.2.2.2.Comparaison de la structure de serre durable par rapport aux critères**

**Tableau23** : Score moyen de chaque structure de serre pour les spécialistes agricoles

Nom	Poids
Serre Canarienne	0,749
Serre tunnel	0,251



**Figure 20** : Score moyen de chaque structure de serre affiché sur *SuperDecision*

Comme le montre le tableau 23 et la figure 20, le SC présente la structure la plus durable avec un score de 75% par rapport au ST. Le résultat obtenu est presque égal à celui obtenu avec les agriculteurs.

### 2.3.Cohérence des jugements

Un indice de cohérence a été calculé pour vérifier l'exactitude de la décision. Les résultats montrent que l'indice de cohérence est respectivement de 0,061 et 0,0993 pour les agriculteurs et les spécialistes agricoles, qui sont inférieurs à l'indice de référence 0,1, ce qui prouve que les logiques de jugement sont cohérentes et acceptables.

### 2.4.Synthèse des résultats

Cette étape nous permet de vérifier les résultats de la décision en utilisant l'AHM. L'analyse des données recueillies auprès de 85 agriculteurs pourrait prouver que le SC soit une structure plus durable que les ST. Pour cela, le comportement de chaque dimension de durabilité a été étudié vis-à-vis de chaque type de structure de serre, comme suit:

### **2.4.1. Dimension économique**

En terme de production, l'enquête révèle que le SC produit 150% par rapport au ST en raison de plusieurs facteurs tels que: le nombre de bouquets par plantes dans SC pourrait être doublé par rapport au ST, la fertigation est effectuée en utilisant une station complète en SC ; tandis que dans les ST les agriculteurs utilisaient des bidons bricolés, la pollinisation dans SC est bien contrôlée en utilisant des bourdons pollinisateurs que dans ST. Ces facteurs permettent aux agriculteurs de maintenir leur activité agricole.

En ce qui concerne l'emploi, les données recueillies montrent que la technologie utilisée dans la SC est plus sophistiquée par rapport à la ST, donc, la SC attire la main d'œuvre.

Malgré que la SC est plus chère que la ST, le revenu qu'elle génère, supérieur à la ST encourage l'agriculteur à la préférer.

### **2.4.2. Dimension environnementale**

La dimension environnementale est très importante pour les prochaines générations. On conclut que le SC est respectueux de l'environnement où nous avons observé que le nombre moyen de traitements en pesticides est de 26 fois pour SC et 35 fois pour ST et que la quantité moyenne d'engrais utilisée par hectare est d'environ 900 Kg / ha avec SC pour 3500 Kg / ha avec ST. Pour la biodiversité, nous avons constaté que toutes les exploitations avec SC sont cultivées par d'autres cultures en parallèle au sériculture et dans le cas des ST, seulement 60% des exploitations sont cultivées par d'autres cultures en plein champs. La consommation d'eau d'irrigation en ST est trois fois plus élevée que dans SC, ce qui contribue à l'épuisement des ressources en eau.

### **2.4.3. Dimension sociale**

Plusieurs indicateurs nous aident à évaluer le bien-être des agriculteurs; Pour notre cas, nous nous basons uniquement sur les revenus où les revenus du SC sont cinq fois plus élevés que les ST. Au sujet de l'état de santé, nous avons noté que les agriculteurs utilisent des moyens de protection dans ST plus que dans SC pour raison de nombre de traitements qui augmentent les risques d'intoxications.

## II. Evaluation de la durabilité du système de production maraichère sous serre dans la région de Biskra en se basant sur des indicateurs

### 1. Méthodologie

A partir des indicateurs sélectionnés dans la partie précédente, nous avons calculé les valeurs de l'indice de la durabilité agricole (IDA) séparément pour chaque ferme. Le calcul de l'IDA est fait soit avec ou sans considération de poids des indicateurs. Ensuite, ces valeurs ont été analysées et interprétées pour juger leur performance sur les trois piliers de la durabilité.

### 2. Résultats et discussions :

Une description statistique des indicateurs de durabilité de la production maraichère sous serre dans le sud-est de l'Algérie est présentée dans le tableau 24.

**Tableau24** : Statistiques descriptives des indicateurs de durabilité

Indicateurs	Moyenne	Ecart type
BID	3.4206	2.08
ENG	1112.92	526.91
IRR	4495.54	2287.20
PEST	20.96	11.456
TIL	3.26	1.36
PRD	115.19	62.05
PRF	6930801,09	4865654,27
EMP	959,24	303,09
LIQ	1386160,21	973130,85
HES	2,25	1,38

#### 2.1. Analyse de corrélation

L'analyse de corrélation a été accomplie pour les 9 indicateurs sélectionnés sur les 85 exploitations enquêtées. Le coefficient de corrélation ( $r$ ) a été calculé pour différentes paires d'indicateurs et une matrice de corrélation a été préparée (tableau 25). La matrice de corrélation révèle que tous les indicateurs sont modérément à faiblement corrélés ( $0,3 < r < 0,6$ ), sauf pour

PRF et PRD qui sont fortement corrélés parce que la PRD est une composante du PRF. Il faut signaler que LIQ a été éliminé de la corrélation parce qu'elle présente une corrélation complète ( $r = 1$ ) avec PRF ; donc elle ne porte aucune information représentative.

Une corrélation positive a été observée entre l'indice de biodiversité et le nombre de passages durant le labour ; ce qui implique que les producteurs serristes ont tendance à changer le nombre de passages selon la spéculation. En plus, une autre corrélation avec le nombre de traitements en pesticides. Selon notre enquête, la tomate est considérée comme la plus exigeante en termes de lutte contre les maladies et les insectes suivie de piment/poivron puis l'aubergine, en dernier lieu la courgette et le melon.

L'utilisation des engrais n'affecte pas seulement l'environnement ; mais aussi réduit le profit économique et le niveau de vie des agriculteurs ; cet effet se traduit par une corrélation négative entre les quantités des engrais avec la qualité de vie d'une part, et le revenu d'autre part. Par ailleurs les agriculteurs qui tendent à augmenter le nombre des passages des outils mécaniques, adoptent en même temps des précautions vers leur santé par l'utilisation des moyens de protection lors du traitement phytosanitaire.

Les faibles liens enregistrés entre différentes variables s'expliquent par la diversification et le manque de ressemblance des pratiques agricoles adoptées par les agriculteurs de Biskra.

**Tableau25** : Matrice de corrélation des indicateurs sélectionnés

	BID	ENG	IRR	PEST	TIL	PRD	PRF	EMP	HES
BID	1	.136	.154	.299**	.495**	.186	-.108	.070	.282**
ENG	.136	1	-.039	-.138	-.093	-.120	-.324**	-.046	.097
IRR	.154	-.039	1	.186	.104	.136	-.012	.064	-.010
PEST	.299**	-.138	.186	1	.419**	.038	-.090	.218*	.255*
TIL	.495**	-.093	.104	.419**	1	.165	-.120	-.003	.328**
PRD	.186	-.120	.136	.038	.165	1	.676**	.026	.239*
PRF	-.108	-.324**	-.012	-.090	-.120	.676**	1	.199	-.111
EMP	.070	-.046	.064	.218*	-.003	.026	.199	1	.037
HES	.282**	.097	-.010	.255*	.328**	.239*	-.111	.037	1

\*\* corrélation significative au niveau de 0.01.

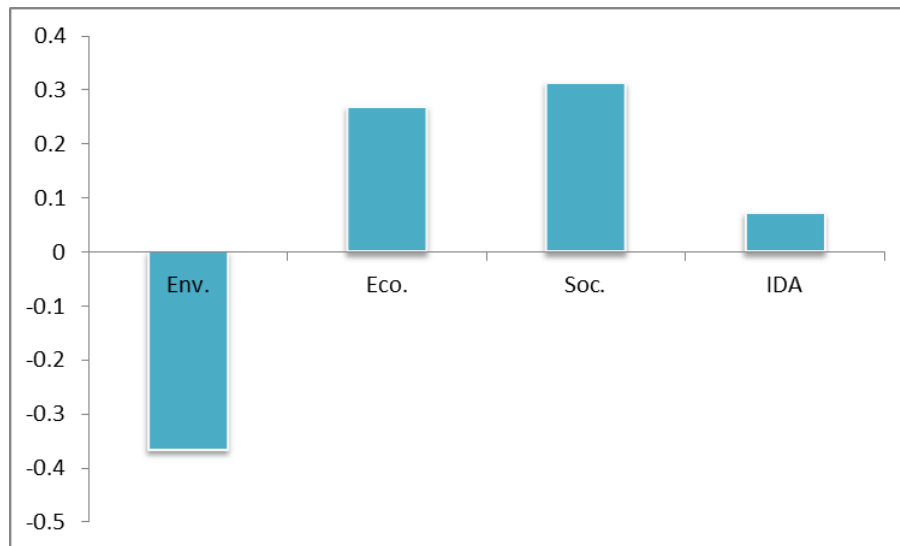
\*corrélation significative au niveau de 0.05.

## 2.2.Niveaux de durabilité agricole

### 2.2.1. Sans pondération des indicateurs

La figure 21 présente les niveaux moyens de durabilité économique, environnementale et sociale de la production maraîchère à Biskra. La zone d'étude montre une performance des indicateurs sociaux et économiques face aux indicateurs environnementaux. La moyenne de l'IDA global est d'environ 0.072. Cette valeur résume les contraintes imposées à la durabilité agricole notamment en ce qui concerne le pilier environnemental.

L'indice de la durabilité agricole IDA est la moyenne des trois dimensions. Il présente une valeur très faible due à la considération de l'indicateur environnemental comme négatif.



**Figure 21** : Moyenne des différentes dimensions de la durabilité agricole pour la région de Biskra (sans pondération)

#### 2.2.1.1.Durabilité économique

Le marché est le locomotif des activités agricoles dans la région étudiée. Les agriculteurs s'efforcent de maximiser leurs revenus malgré les résultats néfastes sur les autres aspects de la durabilité. Les composantes de la durabilité économique étaient toutes sous les seuils (figure 22). Les scores de durabilité sont respectivement de 0.208, 0.272 et 0.327 pour la productivité, le revenu brut et le temps du travail (figure 22). De même, la moyenne de la dimension économique

est encore faible (score de durabilité 0.180). Selon Craheix et al. (2011) le système agricole dépend davantage des intrants lorsque l'efficacité économique est faible.

### 2.2.1.2. Durabilité environnementale

Les figures 21 et 22 démontrent que la dimension environnementale a été enregistrée comme la valeur la plus défavorable (-0.366) dérivant de l'indice de biodiversité (score moyen de 0.323), de la quantité d'engrais utilisés (-0.463), de la consommation d'eau d'irrigation (-0.463), du nombre de traitements par les pesticides (-0,64) et du nombre de passage des outils mécaniques (-0.597). Après ces résultats, le système de production de légumes est vulnérable aux perturbations telles que la dégradation des sols, la pénurie d'eau et la pollution des eaux souterraines. Il faut davantage de bonnes pratiques agricoles pour le rendre durable.

### 2.2.1.3. Durabilité sociale

Niveau de vie (0,272) et sécurité de la santé de l'applicateur (0,354) étaient les scores des deux composantes de la durabilité sociale (0,313). C'est la valeur la plus durable et la plus proche du seuil de la durabilité, comme représentée sur les figures 21 et 22.



**Figure 22 :** Valeurs des indicateurs sélectionnés

#### **2.2.1.4. Comparaison des niveaux de durabilité agricole entre les différentes régions:**

Il convient de souligner que toutes les fermes montrent une hétérogénéité relative en termes de performance de durabilité. Cela reflète le rôle des conditions de production en plus d'une différence dans les pratiques agricoles qui déterminent la valeur de l'IDA pour chaque exploitation individuellement. Il faut noter le rôle des agents technico-commerciaux dans le développement de l'agriculture car ils offrent des conseils et une coordination pour aller vers la durabilité. La figure 23 montre la variabilité de l'IDA pour les différentes communes. Cependant, le score de la durabilité globale semble être stable, positif et inférieur à la limite de durabilité (0.5) sur la totalité de la Wilaya.

M'ziraa était la commune la plus performante du point de vue social et économique, avec des enregistrements environnementaux extrêmement bas. Le score de sa durabilité est de (0,152). Cette région est connue par l'expansion de grandes surfaces cultivées et l'introduction d'équipements sophistiqués et de main-d'œuvre qualifiée. Il convient toutefois de noter que d'autres études à plus grande échelle dans ce domaine sont nécessaires pour estimer l'impact environnemental à long terme.

Dans la deuxième situation, Sidi Okba avec une valeur de durabilité totale de (0,076); environnementale (-0.325), économique (0,22) et sociale (0,334).

La commune de Laghrou (0,0636) a été caractérisée par une très grande variabilité des scores de durabilité en raison d'une différenciation du niveau financier et de l'origine des agriculteurs questionnés. Les valeurs de la composante de la durabilité sont respectivement (0,272), (-0,38) et (0,299) pour la composante économique, environnementale et sociale.

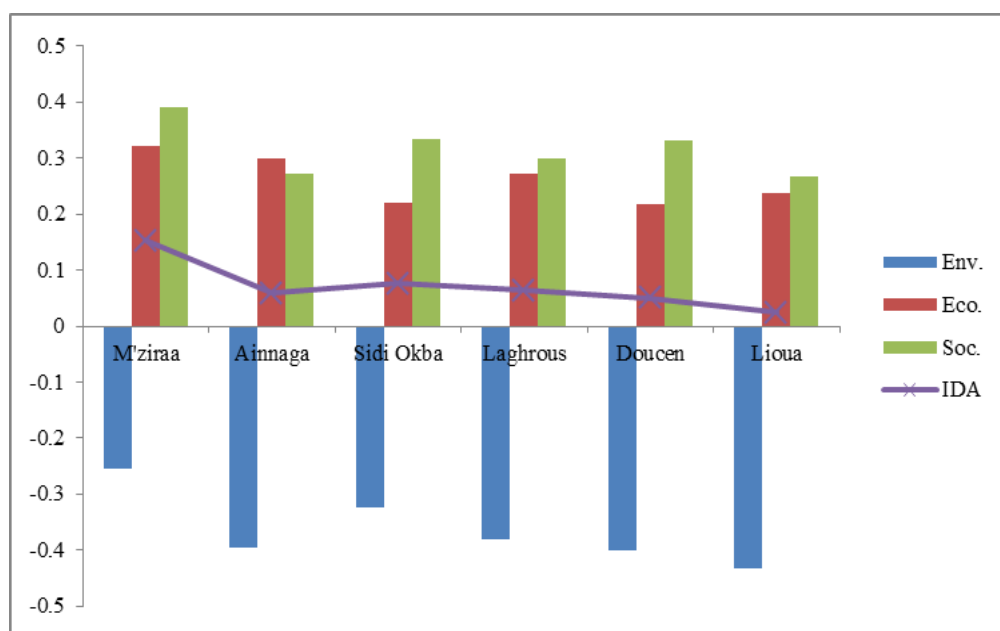
Doucen et Ainnaga ont révélé un score proche (0,05). Environ 40% des agriculteurs de ces régions ont cultivé des terres sans titre foncier. La majorité des agriculteurs sont de petits investisseurs concernant les surfaces cultivées et les ressources financières. Ils adoptent des pratiques agricoles de façon traditionnelle. Les résultats de trois composantes de la durabilité sont (0,299), (-0,396) et (0,273) dans Ainnaga, (0,217), (-0,4) et (0,332) dans Doucen Pour la partie économique, environnementale et sociale, respectivement.



En fin, Lioua (IDA = 0,023), les résultats de la composante économique (0,237), environnementale (-0,433) et sociale (0,023) montrent une certaine stabilité parmi les exploitations agricoles en raison de la remarquable solidarité entre agriculteurs lors de l'accomplissement de différentes pratiques agricoles.

La commune de M'ziraa présente une durabilité agricole en comparaison avec les autres communes à cause de :

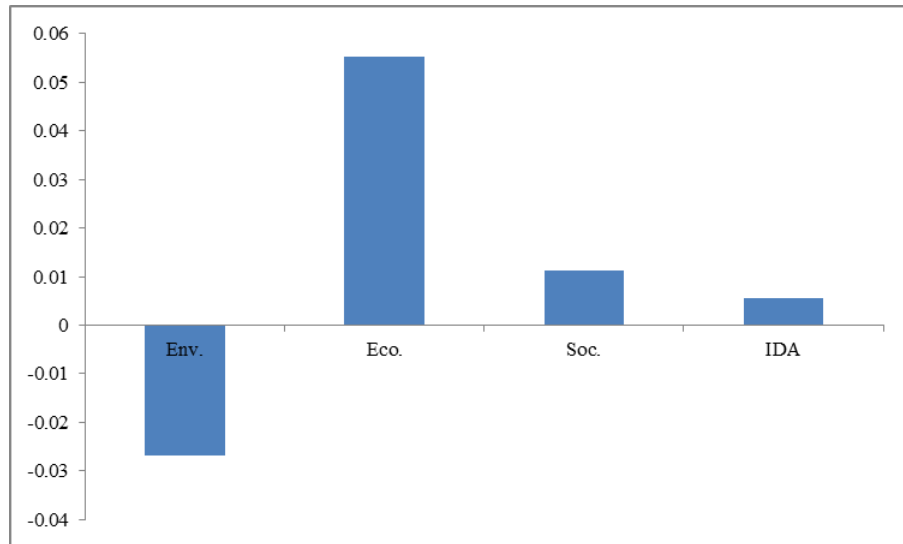
- La diversification des cultures sous serre et en plein champ ;
- L'intégration des différents systèmes production animales et végétales ;
- Le travail en famille ;
- Intensification sous les serres canariennes.



**Figure 23 :** Comparaison de l'IDA des différentes communes de Biskra

### 2.2.2. Avec pondération des indicateurs

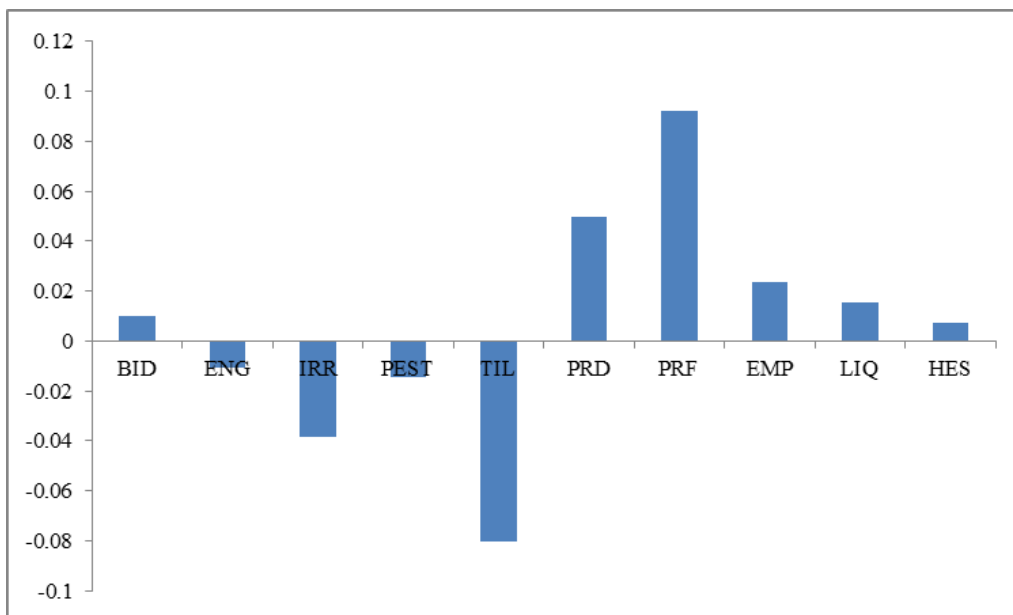
Pour l'attribution des poids pour les indicateurs nous avons utilisés les valeurs des vecteurs propres de chaque critère provenant des spécialistes agricoles (voir le tableau 22).



**Figure 24 :** Moyenne des différentes dimensions de la durabilité agricole pour la région de Biskra (avec pondération).

La figure 24 présente les niveaux moyens de durabilité économique, environnementale et sociale de la production maraîchère à Biskra avec l'attribution des poids aux indicateurs. La dimension économique dévoile une amélioration au détriment des indicateurs sociaux et économiques. Ces résultats reflètent le point de vue des spécialistes qui favorisent le côté économique. D'une façon générale, les trois dimensions ont connu un abaissement ; le pilier environnemental a augmenté de 0.34, la dimension économique a perdu 0.214, la partie sociale a diminué de 0.302 points. La moyenne de l'IDA global est diminuée de 0.072 à 0.0054.

La figure 25 présente les nouvelles valeurs enregistrées par chaque indicateur sélectionné après la prise en considération de leurs poids. Les indicateurs économiques et sociaux ont diminués, par contre les indicateurs environnementaux ont augmentés. Le tableau 26 montre la différence enregistrée dans les valeurs des indicateurs avant et après pondération.



**Figure 25 :** Valeurs des indicateurs sélectionnés (avec pondération)

**Tableau26 :** la différence des valeurs des indicateurs avant et après pondération

	Sans Pondération	Avec Pondération	Différence
BID	0.32	0.01	0.31
ENG	-0.46	-0.01	-0.45
IRR	-0.45	-0.04	-0.41
PEST	-0.64	-0.01	-0.63
TIL	-0.60	-0.08	-0.52
PRD	0.21	0.05	0.16
PRF	0.27	0.09	0.18
EMP	0.33	0.02	0.30
LIQ	0.27	0.02	0.26
HES	0.35	0.01	0.35

## Conclusion

L'objectif de ce chapitre est de déterminer la structure de serre la plus durable parmi les deux types existants (Tunnel et Canarienne), en plus, d'évaluer la durabilité agricole du système de production maraîchère sous serre dans la Wilaya de Biskra. Pour cela, une enquête a été menée dans cette région et neuf critères ont été choisis en fonction des conditions locales. Les résultats obtenus révèlent que l'agriculteur et les spécialistes agricoles partagent la même vision sur l'importance des indicateurs économiques où la somme de leur poids est respectivement de 74% et 66%. La AHM indique que la structure de serre idéale est la canarienne.

L'agriculture de maraîchage dans le sud-est Algérien montre une forte durabilité économique et sociale, alors que les indicateurs environnementaux montrent le contraire. Toutes les valeurs d'IDA des 85 producteurs serristes sélectionnés sont inférieures au score moyen (0,5). Ces résultats sont dus à l'absence de pratiques agricoles environnementales mises en œuvre par les agriculteurs, on cite à titre d'exemple:

- Nombre élevé de passage en travaillant le sol: les résultats ont montré que le nombre de passage d'outils mécaniques peut atteindre 8 fois par saison ce qui affectera négativement la structure biologique et physique du sol, Walter et Stützel (2009) attestent que la compaction du sol est principalement (70%), causée par des pneus étroits à haute pression. Plus que, Bouthier et al., (2014) ont prouvé que les effets négatifs de la charrue peuvent être atténués s'ils s'accompagnent de pratiques d'entretiens organiques du sol, de cultures de rotation, d'utilisation d'engrais verts, de cultures de couverture et de pesticides réduits. Récemment, de nombreux auteurs démontrent que le système de culture sans labour a amélioré l'efficacité de l'utilisation des ressources, réduit le coût de la gestion des mauvaises herbes et augmenté les rendements (Anderson, 2016).

- La consommation excessive d'eau est la cause principale de l'épuisement des eaux souterraines. Ces derniers temps, un rabattement de la profondeur de l'eau a été enregistré dans les municipalités de Lioua et M'ziraa.

- En ce qui concerne la biodiversité, les résultats affichent une variation considérable entre les fermes; reste à mentionner que le motif principal est économique.

- L'intensification des intrants chimiques (engrais et pesticides) peut nuire à la santé humaine et à l'environnement, c'est pourquoi Hayati et al. (2011) ont noté que l'utilisation excessive d'engrais peut contribuer aux problèmes d'eutrophisation, d'acidification, la contamination toxique du sol, de l'eau et de l'air. Cependant, cette enquête a révélé que les agriculteurs appliquent des quantités de plus en plus importantes d'engrais chimiques pour maintenir le rendement en raison de la dégradation progressive de la fertilité du sol et de la faible teneur en matière organique dans ces sols.

Cette étude considère l'exploitation comme l'unité de base pour l'analyse de la durabilité agricole. Par conséquent, l'utilisation des données à l'échelle de la ferme a été largement

reconnue (Bockstaller et al., 2008, Bockstaller et al., 2015, Dantsis et al., 2010, Gomez-Limon et Riesgo, 2009, Pacini et al., 2003 , Reig-Martinez et al., 2011, Rigby et al., 2001, Van der Werf et Petit, 2002, Yegbemey et al., 2014). Cependant, Praneetvatakul et al. (2001) évaluent la durabilité au niveau des ménages, des villages et des sous-bassins versants. Dahl, (2012) requiert le calcul de la durabilité au niveau planétaire.

Les indicateurs développés sont basés sur les pratiques agricoles où trois éléments de durabilité sont pris en considération. Les pratiques agricoles sont considérées par Hayati et al., (2011) ; Rigby et al., (2001) comme les déterminants les plus importants de la durabilité («fondé sur les moyens»). Van der Werf et Petit (2002) préfèrent des indicateurs basés sur l'état du système agricole («basé sur l'effet»). Notre étude inclue les objectifs économiques, environnementaux et sociaux conformément aux travaux de Gerdessen, et Pascucci, (2013); Hayati et al., (2011). Cependant, Bechini et Castoldi (2009) ne définissaient que les indicateurs économiques et environnementaux. Bockstaller et al., (1997) ont distingué une liste de facteurs environnementaux et agronomiques.

Ce cadre présente quelques limites; tout d'abord, le seuil doit être scientifiquement basé. Deuxièmement, une compensation peut se produire entre les valeurs des différentes composantes de l'indicateur agrégé (Bockstaller et al., 1997). Troisièmement, en raison de leur subjectivité lors de la sélection des indicateurs, certains auteurs ne favorisent pas l'utilisation d'indicateurs composites, selon (Maystret al, 1994 in Van der Werf et Petit, 2002) l'agrégation facilite la prise de décision, mais au prix d'une perte d'information, produisant un seul indice ambigu. Pour surmonter les limitations mentionnées ci-dessus, nous devons faire appel aux autres méthodes objectives, par exemple: la logique floue.

## **Chapitre V : Analyse du bilan énergétique et de l'indice de mécanisation de la plasticulture dans le sud Algérien. Un aperçu de la Wilaya de Biskra**

### **Introduction :**

Compte tenu du fait que les ressources naturelles sont limitées et que l'impact de l'utilisation de différentes sources d'énergie sur l'environnement et la santé humaine est significatif dans le développement d'une agriculture durable, il est alors important d'étudier les modes d'utilisation de cette énergie dans l'agriculture (Samavatean, 2011). Par conséquent, les efforts de recherche ont mis l'accent sur l'analyse énergétique et économique de divers produits agricoles pour épargner les ressources de l'écosystème (Singh et al., 2002). Alors que plusieurs travaux à travers le monde ont été menés pour estimer la consommation d'énergie dans la production de légumes sous serre, tels que: Ozkan et al. (2004), Elings et al. (2005), Campiglia et al. (2007), Djevic et Dimitrijevic (2009), Ozkan et al. (2011), Pahlavan et al. (2011), Heidari et Omid (2011), Bojacá et al. (2012), Baptista et al. (2012) et Hedau et al. (2014). Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a été publiée sur l'analyse des inputs et des outputs énergétiques de la production de légumes sous serre en Algérie et aussi sur la détermination de l'indice de mécanisation.

La présente étude a pour but d'analyser la balance énergétique de la production de légumes sous serre afin d'étudier l'efficacité de son utilisation de l'énergie. En outre, cette étude a pour souhait aussi, d'estimer le degré et l'indice de mécanisation pour ce système agricole de production dans la Wilaya de Biskra.

Le calcul des inputs-outputs de la balance énergétique est basé sur les données de l'enquête réalisée auprès des producteurs maraichers sous serre dans la wilaya de Biskra. Chaque entrée est calculée séparément pour chaque exploitation par unité de surface (ha) puis multiplié par l'unité de l'énergie équivalente (tableaux 27 et 28).

### **1. Matériels et méthodes**

**Signalons ici que cette étude a été menée dans la zone d'étude citée dans le chapitre (03).**

## 1.1.Mesure des inputs et des outputs énergétiques

Les besoins énergétiques en agriculture sont divisés en deux groupes, directs et indirects (Samavatean, 2011). Dans cette étude, l'énergie directe comprend le travail humain, le diesel, l'eau pour l'irrigation tandis que l'énergie indirecte comprend les semences, les engrais, le fumier organique, les produits chimiques, les machines et l'infrastructure des serres. Sur la base des équivalents énergétiques des inputs et des outputs illustrés dans tableau 27, nous avons calculé l'énergie métabolisable. L'énergie renouvelable (ER) comporte la main-d'œuvre, les semences, le fumier et l'eau pour l'irrigation, tandis que l'énergie non renouvelable (ENR) comprend les machines, le diesel, l'électricité, les infrastructures, les engrais et les produits chimiques.

**Tableau27** : Coefficients d'équivalence énergétique

source d'énergie	Unité	Energie équivalent (Mj unit <sup>-1</sup> )	Référence
<b>Entrées</b>			
Main d'œuvre	h	1.96	Singh et al. (2002)
Machines	h	62.7	Singh et al. (2002)
Diesel	l	45.4	Bojacá et al. (2012)
Infrastructure	kg		
Acier		33	Medina A, et al (2006)
Polyéthylène		9.9	Medina A, et al (2006)
Fibre synthétique		1.2	Medina A, et al (2006)
PVC		11.6	Medina A, et al (2006)
Engrais	kg		
N		60.6	Ozkan et al. (2004)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		11.1	Ozkan et al. (2004)
K <sub>2</sub> O		6.7	Ozkan et al. (2004)
Fumier organique	kg	0.3	Bojacá et al. (2012)
Pesticides	kg		
Fongicides		216	Mohammadi and Omid (2010)
Insecticides		101.2	Mohammadi and Omid (2010)
Matériel végétal			
Plantules	unité	0.2	Bojacá et al. (2012)
Eau d'irrigations	m <sup>3</sup>	0.63	Bojacá et al. (2012)
Electricité	(kW h)	3.6	Ozkan et al. (2004)
<b>Sortie</b>			
Tomate, concombre, aubergine, piment, poivron	kg	0.8	Ozkan et al. (2004)

Pour analyser le flux d'énergie, les indexes du rapport énergétique (efficacité de l'utilisation énergétique) (EUE), de l'énergie net (EN) et de la productivité énergétique (PE) ont été calculés comme suit:

$$\text{Sortie – Rapport d'entrée (RE)} = \frac{\text{Sortie d'énergie } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)}{\text{Entrée d'énergie } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)} \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{Productivité énergétique (PE)} = \frac{\text{Sortie totale } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\text{Entrée d'énergie } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right)} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{Energie nette (EN)} = \text{Sortie d'énergie}(\text{MJ/ha}) - \text{Entrée d'énergie } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ha}}\right) \quad \text{Eq. 5}$$

$$\text{Energie spécifique} = \frac{\text{Entrée d'énergie (MJ /ha)}}{\text{Production végétale (kg /ha)}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Intensité énergétique} = \frac{\text{Entrée d'énergie (MJ /ha)}}{\text{Coût de la culture (DA /ha)}} \quad \text{Eq. 7}$$

La production sous serres est plus coûteuse que la production en plein champ pour la même culture, les plus importants facteurs déterminant les coûts sont l'infrastructure et l'équipement, la main-d'œuvre, l'énergie et les coûts variables tels que le matériel végétal, le substrat et les engrais (Peet et Welles, 2005). Pour cela, une analyse économique des entrées/sorties a également été appliquée. Le processus est semblable à celui du bilan énergétique. L'analyse économique des agriculteurs faisant l'objet de l'enquête a été déterminée à l'aide des indicateurs suivants (Fadavi et al., 2011):

$$\text{Valeur brute} = \text{Rendements végétal (kg ha}^{-1}\text{)} \times \text{prix (DAkg}^{-1}\text{)} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\text{Revenu brut} = \text{Valeur de la production totale (DA ha}^{-1}\text{)} - \text{Coût variable de production (DA h}^{-1}\text{)} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\text{Revenu net} = \text{Valeur de la production totale (DA ha}^{-1}\text{)} - \text{Coûts de production total (DA ha}^{-1}\text{)} \quad \text{Eq. 10}$$

$$\text{Gain – Rapport coût} = \frac{\text{Valeur de la production totale (DA ha}^{-1}\text{)}}{\text{Coûts de production totale (DA ha}^{-1}\text{)}} \quad \text{Eq. 11}$$



$$\text{Productivité} = \frac{\text{Rendements végétal (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Coûts de production total (DA ha}^{-1}\text{)}} \quad \text{Eq. 12}$$

## 1.2. Estimation de l'état de mécanisation

Le degré de mécanisation, l'indice de mécanisation et le ratio énergétique de la machine sont des indicateurs de l'état de mécanisation reconnu au niveau international.

- **Le degré de mécanisation (DM)** est l'indice qui examine l'ampleur du problème de mécanisation et il est défini comme le rapport de surface de la zone dans laquelle les opérations sont mécanisées sur la surface totale. En particulier, nous pouvons considérer le degré de mécanisation comme un indice de quantité comparable à différents niveaux de degré de mécanisation. Cet indice a une large application dans la croissance de la mécanisation dans différentes années ou en comparant le degré de mécanisation des différentes opérations avec une grande influence sur l'analyse des prétextes (Rasooli Sharabiani et Ranjbar, 2008)

- **Indice de mécanisation (IM):** Singh (2006) a présenté une définition de l'indice de mécanisation basée sur le travail fourni par l'homme, l'animal et la machine dans l'énergie input et qui est calculée à partir de la relation suivante :

$$\text{IM} = \frac{\text{CEM}}{\text{CEH} + \text{CEA} + \text{CEM}} \quad \text{Eq. 13}$$

IM: indice de mécanisation, CEM: Coût de l'utilisation de la machine, CEH: Coût de la main-d'œuvre, CEA: Coût de l'utilisation de la puissance animale.

### -Ratio énergétique des machines (indice machine)

Le ratio énergétique des machines est un indice qui est le pourcentage de l'énergie de différents équipements et outils de travail utilisés dans les différentes opérations culturales de l'énergie input total. L'énergie de la machine a été déterminée en utilisant l'équation suivante :

$$\text{REM} = \frac{\text{Ed}}{\text{Te}} \quad \text{Eq. 14}$$

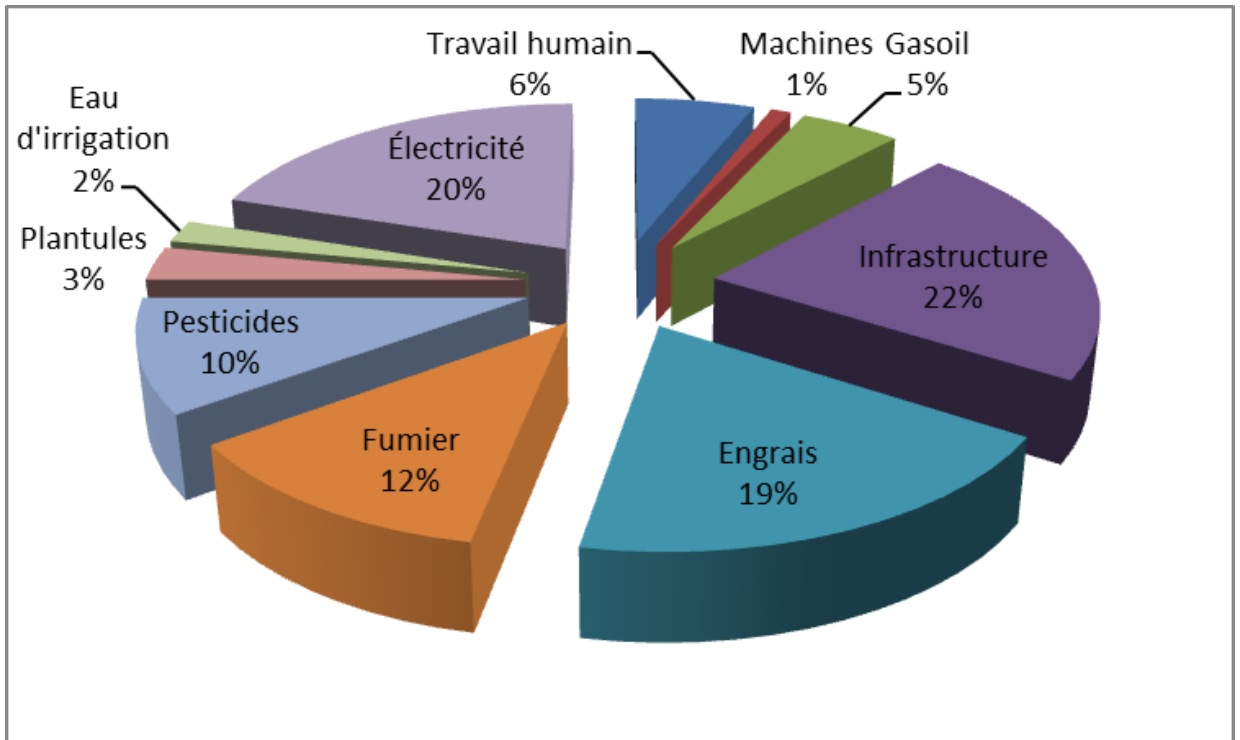
Où, REM est le rapport de l'énergie de la machine à l'énergie totale d'entrée; «Ed» est l'énergie d'entrée à travers les différentes machines/outils; et «Te» représente l'apport énergétique total provenant de la main-d'œuvre humaine, des animaux, des machines/outils manuels, des semences et des fumiers pour la production végétale sous serre.

## 2. Résultats et discussion

Les données ont été recueillies auprès de 65 producteurs de légumes sous serre de la région de Biskra (soit 76% de l'échantillon total enquêté). La taille moyenne des surfaces des serres est d'environ 2,1 ha qui oscillent de 0,25 à 12,75 ha. Toutes les serres étudiées étaient couvertes en plastique avec des structures métalliques. Les données montrent également que la quasi-totalité des superficies couvertes par les serres sont irriguées par le système goutte à goutte et environ 73% des exploitations visitées sont des propriétés privées et 27% sont louées.

### 2.1. Analyse d'énergie entrée - sorties utilisées

Le résultat récapitulé sur le modèle d'utilisation de l'énergie et la valeur de rendement de la production végétale est présentée dans la figure 26 et le tableau 28 qui donnent la répartition en pourcentage des intrants énergétiques.



**Figure 26** : Répartition en pourcentage des intrants énergétiques dans la plasticulture

**Tableau28** : Quantités des intrants et de l'énergie produite dans la production végétale protégée

Source d'énergie	Quantité par unité de surface (ha)	Energie équivalente totale (Mj unit <sup>-1</sup> )
Entrée		
<b>Travail humain (h)</b>	3457,03	6775,78
<b>Machines (h)</b>	31,38	1967,25
<b>Gasoil (l)</b>	129,02	5857,41
<b>Infrastructure (kg)</b>		
<b>Acier</b>	146,68	4840,31
<b>Polyéthylène</b>	2082,54	20617,14
<b>file synthétique</b>	105,81	126,97
<b>PVC</b>	130,82	1517,46
<b>Engrais (kg)</b>		
<b>N</b>	278,86	16899,13
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	354,66	3936,76
<b>K<sub>2</sub>O</b>	274,50	1839,16
<b>Fumier organique (kg)</b>	47742,54	14322,76
<b>Pesticides (kg)</b>		
<b>Fongicides</b>	10,30	2224,12
<b>Insecticides</b>	96,47	9762,64
<b>Matériel végétale</b>		
<b>Plantules (unités)</b>	17232	3446,35
<b>Eau d'irrigation (m<sup>3</sup>)</b>	3154,00	1987,02
<b>Electricité (kW h)</b>	6544,84	23561,42
Sortie :		
<b>Tomate, concombre, aubergine, piment et poivron (kg)</b>	122095,24	97676,19

**Source : notre résultats**

Les résultats ont révélé que l'énergie totale requise pour la production végétale sous serre est de 119,68 GJ par hectare. En comparaison avec d'autres études, en Turquie, la consommation d'énergie pour le concombre, la tomate, les aubergines et le poivron était respectivement de 134,77 ; 127,32 ; 98,68 et 80,25 GJ/ha-1 (Ozkan et al., 2004). Dans le centre de l'Italie, les besoins énergétiques totaux pour la production de légumes sous serre ont été estimés dans l'intervalle de 64,232-142,835 GJ/ha-1 (Campiglia et al., 2007). Ces résultats indiquent que la consommation d'énergie pour la production sous serre de légumes est différente d'une région à

une autre avec des variations légères. Parmi les différentes sources d'énergie, l'infrastructure a été le consommateur d'énergie le plus élevé, suivi par l'électricité et les engrais avec une part de 22%, 20% et 19%, respectivement. Ce résultat est en accord avec ceux trouvés par Medina et al (2006), où la majeure partie de la consommation d'énergie en Colombie provient de la construction de la serre avec 41,29% de la consommation totale d'énergie et la majeure partie de cette énergie est attribuée à l'acier.

La proportion de l'énergie du fumier, des pesticides, de la main-d'œuvre humaine, du gasoil, des plantules, de l'eau et des machines utilisées pour la culture de légumes protégés (tomates, concombres, aubergines, poivrons) était de 12%, 10%, 6%, 5% 3%, 2% et 1%, respectivement. Les résultats indiquent que la majeure partie de la production de la tomate cultivée en hiver a été consommée en engrais (38,22%), en électricité (27,09%), en fumier (17,33%) et en gasoil (13,65% (Ozkan et al., 2011), tandis que le diesel et les engrais contiennent les plus fortes énergies avec 54,17% - 49,02% et 21,64% -24,01% respectivement (Heidari et Omid, 2011). Cette comparaison montre que chaque région a une spécificité en termes de partage des intrants de l'énergie.

Les engrais et le fumier requis pour fertiliser le sol sont de 48650,56 kg ha<sup>-1</sup> avec près d'un tiers de l'énergie totale consommée (31%), cette observation est un tendance commun, chez les maraichers, que l'augmentation de l'utilisation d'engrais et de fumier augmentera le rendement. 3457.03 heures de puissance humaine et 31.38 heures de puissance de machine sont nécessaires par hectare pour la production de légumes dans la zone d'étude. L'itinéraire cultural est principalement similaire pour toutes les cultures de serres, d'ailleurs il est généralement réalisé par l'énergie humaine (6%) par rapport à l'énergie des machines (1%). La source du travail humain dans les exploitations enquêtées provient soit des membres de la famille, soit principalement des travailleurs saisonniers. En outre, 5857,41 MJ ha<sup>-1</sup> de carburant diesel ont été consommés généralement par les machines et la plupart des machines sont principalement fournis par la location.

Le tableau 29 présente l'efficiencia de l'utilisation énergétique, la productivité énergétique, l'énergie spécifique, l'énergie nette et l'intensité énergétique de la production maraichère.

**Tableau29** : Rapport d'énergie input - output dans la production maraichère sous serre

	<b>Unité</b>	<b>production maraichère sous serre</b>
<b>Energie entrée</b>	MJ ha <sup>-1</sup>	119681,69
<b>Energie sortie</b>	MJ ha <sup>-1</sup>	97676,19
<b>Rendement</b>	kg ha <sup>-1</sup>	122095,24
<b>Efficience de l'utilisation d'énergie</b>	---	0.82
<b>Energie spécifique</b>	MJ kg <sup>-1</sup>	0.98
<b>productivité énergétique</b>	kg MJ <sup>-1</sup>	1,02
<b>Energie nette</b>	MJ ha <sup>-1</sup>	-22005,50
<b>Intensité énergétique</b>	MJ DA <sup>-1</sup>	2.09

L'efficience de l'utilisation de l'énergie (ratio énergétique) est de 0,82, ce qui montre une utilisation inefficace de l'énergie dans la production de légumes protégés. D'autres résultats ont été obtenus pour des légumes protégés, comme 0,66 pour la tomate (Pahlavan et al., 2011), 0,76 pour le concombre, 0,61 pour l'aubergine, 0,99 pour le piment (Ozkan et al., 2004), 0,32 pour la tomate, 0,31 pour le concombre, 0,23 pour l'aubergine, 0,19 pour le piment (Canakci et Akinci, 2006) ont été signalés pour différentes cultures, montrant l'utilisation inefficace de l'énergie, on en conclue donc que le rapport énergétique peut être élevé en augmentant le rendement des cultures et/ou en diminuant la consommation d'énergie. Des résultats similaires comme 0,68 pour la tomate (Bojacá et al., 2012), 0,69 et 1,48 pour le concombre et la tomate respectivement (Heidari et Omid, 2011), 0,8 pour la tomate d'hiver (Ozkan et al., 2011).

La productivité énergétique moyenne du légume protégé était de 1,02 kg MJ<sup>-1</sup>. Cela signifie que 1,02 kg de tomate, de concombre, de poivron ou d'aubergine ont été obtenus par unité d'énergie. L'énergie spécifique, l'énergie nette et l'intensité énergétique de la production maraichère sous serre étaient respectivement de 0,98 MJ kg<sup>-1</sup>, -22005,50 MJ ha<sup>-1</sup> et 2,09 MJ DA<sup>-1</sup>. L'énergie nette est négative (inférieure à zéro). Par conséquent, on peut conclure que dans la production maraichère protégée à Biskra, l'énergie est perdue. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres chercheurs comme Ozkan et al. (2004), Canakci et Akinci (2006) et

Pahlavan et al. (2011). Des études parallèles ont permis d'obtenir 0,31 MJ kg<sup>-1</sup> (Ozkan et al., 2004), 12380,3 MJ t<sup>-1</sup> (Hatirli et al., 2006) et 0,94 kg/MJ (Ozkan et al., 2011) pour l'énergie spécifique de la production de maïs. La consommation énergétique moyenne totale sous forme directe, indirecte, renouvelable et non renouvelable est donnée au tableau 30.

**Tableau30** : Consommation totale d'énergie sous forme directe, indirecte, renouvelable et non renouvelable pour la production de légumes

Forme de l'énergie	(MJ ha <sup>-1</sup> )	%
Energie directe	38181,63	31,90
Energie indirecte	81500,06	68,10
Energie renouvelable	26531,92	22,17
Energie non-renouvelable	93149,77	77,83

L'énergie totale consommée pourrait être classée en énergie directe (31,90%), énergie indirecte (68,10%) et énergie renouvelable (22,17%) et énergie non renouvelable (77,83%). Un certain nombre de résultats ont permis de déduire que pour la tomate en Turquie, l'énergie indirecte (41,54%) est inférieure à celle de l'énergie directe (58,18%) et l'énergie renouvelable (81,60%) est supérieure à celle de l'énergie non renouvelable (18,12%) (Ozkan et al., 2011), tandis que pour la même culture et la même région, la part de l'énergie intrants directe était de 59% dans l'apport énergétique total comparativement à 41% pour l'énergie indirecte. En revanche, les énergies non renouvelables et renouvelables ont contribué respectivement à 88 et 12% de l'apport énergétique total (Hatirli et al., 2006).

## 2.2. Analyse économique

Dans cette section, la majorité des études effectuées sur le bilan énergétique des légumes protégés ne tiennent pas compte de la caractéristique économique. De notre côté, le coût de chaque intrant utilisé et les valeurs de production brutes calculées pour la production de légumes protégés sont présentés au tableau 31.

**Tableau31** : Analyse économique de la production de légumes de serre

<b>Indice économique</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur</b>
<b>Rendement</b>	kg ha <sup>-1</sup>	122095,24
<b>prix de vente</b>	DA kg <sup>-1</sup>	50
<b>Valeur brute</b>	DA ha <sup>-1</sup>	6 296 758,19
<b>Coûts variables</b>	DA ha <sup>-1</sup>	2 727 145,81
<b>Coûts fixes</b>	DA ha <sup>-1</sup>	428 914,10
<b>Coût total</b>	DA ha <sup>-1</sup>	3 154 322,96
<b>Coût de production</b>	DA kg <sup>-1</sup>	26,33
<b>Revenu brut</b>	DA ha <sup>-1</sup>	3 572 173,53
<b>Revenu net</b>	DA ha <sup>-1</sup>	3 143 294,96
<b>Ratio bénéfice/coûts</b>		1,99
<b>Productivité</b>	kg DA <sup>-1</sup>	4,25

Le résultat montre que la valeur brute de la production est de 6 298 961,26 DA ha<sup>-1</sup>, où le coût moyen total de la production était de 3 155 736,26 DA ha<sup>-1</sup>. Environ 86,40% des dépenses totales étaient des coûts variables, tandis que 13,59% étaient des charges fixes. Plusieurs études ont indiqué que le rapport entre le coût variable était plus élevé que le coût fixe dans les systèmes de production agricoles (Samavatean et al., 2011). A partir de ces résultats, le rapport bénéfice/coût de la production de serriste dans les exploitations a été calculé à 1,99. Ces résultats concordent avec ceux de Canakci et Akinci (2006) où le rapport bénéfice/coût pour la production de tomates, de poivrons, de concombres et d'aubergines a été calculé respectivement à 1,57 ; 1,15 ; 1,29 et 1,10. D'autre part, le rapport bénéfice/coût a été calculé pour d'autres cultures telles que 1,36 pour la production d'ail (Samavatean et al., 2011), 1,83 et 2,21 pour le raisin sous serre et en plein champ (Ozkan et al., 2007). En ce qui concerne le rendement brut, le calcul a donné le nombre de 3 573 537,19 DA ha<sup>-1</sup> tandis que pour la productivité, il est de 4.25 kg DA<sup>-1</sup>.

### 2.3. Analyse de l'état de la mécanisation

Différentes classes d'exploitation ont été déterminées en se basant sur la surface de la serre. Le tableau 32 présente le taux de DM en pourcentage pour chaque machine dans les différentes opérations culturales au cours de la culture de légumes dans différents classes, séparément.

**Tableau32** : Part des DM dans les activités totales dans la production maraîchère sous serre (s=surface)

Outil	S<1ha	1ha<S<3ha	3ha<S<5ha	S >5ha	Total (%)
Charrue à socs	100	100	100	100	100
Charrue à disques	93	100	100	100	95,38
Rotavator	2	25	0	62,5	14
Billonneuse	73	67	25	50	66
Machine à planter	0	0	0	0	0
Pulvérisateur des pesticides	100	100	100	100	100

Comme montré dans le tableau 32, le pulvérisateur de pesticides et la charrue à socs maintiennent le degré de mécanisation le plus haut. Toutes les opérations de labour et de lutte contre les ravageurs sont de 100% dans la zone étudiée. Cela indique que les 100% des opérations ont été effectuées par des machines pour la production protégée de légumes pour 130.05 hectares. Ensuite, les opérations d'ameublissement du sol, de mélange des fumiers et de confection des billons sont faites avec 95,38%, 14% et 66%, respectivement. Le plus grand degré de mécanisation a été enregistré dans la ferme avec une superficie de plus de cinq hectares qui était due à l'utilisation fréquente des machines ; les fermes avec une superficie inférieure à un hectare avait le plus faible DM à l'exception de la fertilisation en utilisant l'irrigation goutte à goutte (table 32). Comme on le voit, la majorité des agriculteurs utilisent la billonneuse. Cependant, cette opération requiert une énergie et un temps considérables, comme un conseil, la confection des billons n'est pas une opération nécessaire quand on met en place un système d'irrigation goutte à goutte.



**Tableau33** : Indice de mécanisation et ratio énergétique des machines pour différentes tailles d'exploitations

	<1ha	1-3ha	3-5ha	>5ha	total
<b>Indice de mécanisation (IM)</b>	0.119	0.124	0.111	0.112	0.119
<b>ratio énergétique des machines (REM)</b>	0.008	0.012	0.007	0.017	0.010
<b>Nombre des agriculteurs</b>	41	12	4	8	65

Le tableau 33 illustre que le IM obtenu est 0.119 pour la production de légumes sous serre dans la région étudiée. Il semble que le IM calculé soit presque égal pour tous les groupes avec une petite différence. L'ensemble des agriculteurs utilisent moins d'énergie de la machinerie en hectare que l'énergie de la main-d'œuvre humaine. Ces résultats pourraient s'expliquer par l'indisponibilité de la machine destinée à la culture sous serre sur le marché local, notamment la planteuse, en raison également de la situation financière de l'agriculteur. Les précédents travaux ont montré que l'IM au niveau de toute l'Inde était seulement de 14,5%, et il variait de 8,2% dans le sorgho et le riz à une plus haute valeur de 29,00% dans le blé (Singh, 2006).

### 3. Conclusion

Ce travail a porté sur l'analyse des input-output énergétiques pour les légumes sous serre dans la Wilaya de Biskra, ainsi que sur l'analyse économique et la détermination de l'état de mécanisation pour ce secteur. Pour cette raison, une enquête a été menée auprès de 65 serristes. Les résultats de cette étude pourraient être présentés comme suit:

- L'énergie totale requise pour la production protégée de légumes est de 119,68 GJ par hectare, ce qui est proche de celui rapporté dans des recherches précédentes (Ozkan et al., 2004).
- Parmi les différentes sources d'énergie, l'infrastructure a été le consommateur énergétique le plus élevé, suivi de l'électricité et des engrais avec une part de 22%, 20% et 19%, respectivement.
- Chaque région a une spécificité en termes de partage des intrants énergétiques.

- L'efficience énergétique (ratio d'énergie) a été de 0,82, ce qui montre l'inefficacité de l'utilisation de l'énergie dans la plasticulture.
- La valeur brute de la production est de 57384,76 DA ha<sup>-1</sup>, où le coût moyen total de la production était de 28749,37 DA ha<sup>-1</sup>. Environ 86,40% des dépenses totales étaient des coûts variables, tandis que 13,59% étaient des dépenses fixes.
- Tous les agriculteurs utilisent moins d'énergie de la machinerie en hectare par rapport à l'énergie humaine.

## Conclusion générale

Le développement d'un outil d'évaluation de la durabilité en agriculture, en régions arides, semble aujourd'hui nécessaire pour accompagner les modifications de pratiques agricoles qui permettront de gérer un développement durable. Cet outil permettra d'éclairer les décideurs, gestionnaires et politiques sur les projections du développement de notre agriculture dans un milieu fragile évoluant dans un contexte climatique difficile. Il est nécessaire aussi de mener des études pour pouvoir estimer avec précision l'état actuel de l'environnement et son évolution probable surtout pour quantifier les résidus des pesticides dans les légumes cultivés, le sol et les eaux souterraines. Mener un développement précipité de notre agriculture, qui doit répondre à des besoins immédiats et urgents, peut avoir des conséquences désastreuses sur le long terme au niveau des sols et des réserves en eaux souterraines dont le renouvellement sera de plus en plus aléatoire au vu du réchauffement climatique en cours.

Les résultats obtenus à partir des 85 exploitations, montrent que chaque système a ses atouts et ses faiblesses. Pour analyser les pratiques d'un producteur, il est important de bien connaître ses contraintes et les objectifs qu'il s'est fixés. L'idée de penser l'existence d'un système de culture parfait est illusoire (pas d'impact environnemental et social avec des profits économiques très élevés), donc, il est nécessaire de s'adapter avec les circonstances et organiser les priorités (Malaval et al., 2008).

La caractérisation typologique de ces exploitations nous permet de distinguer entre quatre classes:

- grands maraichers spécialisés avec des exploitations fortement intensifiées
- petits maraichers spécialisés avec des exploitations faiblement intensifiées
- grands maraichers à spéculations diversifiées avec des exploitations fortement intensifiées (Zab Est).
- maraichers de taille moyenne à spéculations diversifiées avec des exploitations moyennement intensifiées (Zab Ouest).

L'évaluation de la durabilité du système de production maraichère sous serre dans la région de Biskra a permis la construction d'une base d'indicateurs orientée vers les pratiques agricoles, au niveau de l'exploitation en considérant les trois dimensions de la durabilité

(environnementale, sociale et économique). Dans ce sens, une enquête a été réalisée dans cette région et neuf critères ont été sélectionnés en fonction des conditions locales, y compris la productivité, la rentabilité, l'emploi, les intrants chimiques, le travail du sol, le système d'irrigation, la biodiversité, la qualité de vie et la sécurité sanitaire. L'agriculture des maraîchers dans le sud-est Algérien montre une forte durabilité économique et sociale, alors que les indicateurs environnementaux montrent le contraire.

L'indice de la durabilité agricole fournit des informations utiles et un outil scientifique pour le processus d'évaluation de la durabilité agricole pour les futures études et pour les décideurs et les planificateurs, en particulier à Biskra. En outre, l'application de l'indice construit, doit être étendue pour une autre zone d'étude d'échelle et le calage sur terrain. La liste des indicateurs pourrait être mise à jour et validée pour les nouvelles questions et les spécificités locales. En plus, ce travail pourrait aider aussi les décideurs et les chercheurs à mettre en œuvre une politique de développement durable.

Les résultats obtenus révèlent que l'agriculteur et les professionnelles agricoles partagent la même vision quant au poids des indicateurs économiques avec respectivement 74% et 66%. L'analyse du processus de hiérarchie analytique (AHP) prévoit que la serre canarienne présente la structure idéale pour promouvoir la durabilité de l'agriculture dans la province de Biskra.

Le choix de la structure de la serre est très important pour maintenir le système de production de légumes protégés à Biskra. Au vu de la pénurie d'études sur ce sujet, ce travail fournit des informations de soutien pour les décideurs afin de guider la politique de développement et pour les chercheurs d'améliorer les connaissances sur la durabilité.

En guise de recommandations, les propositions ci-dessous pourraient améliorer l'état de la durabilité dans la sériculture et permettre également à l'agriculteur d'améliorer sa situation financière, à savoir:

- Formation, par un employeur qualifié, des agriculteurs, pour changer leurs décisions inappropriés et veiller à un apport contrôlé des connaissances ;
- Amélioration de la lutte antiparasitaire à l'aide d'une méthode de lutte intégrée (IPM) ;

- Elaboration d'une stratégie d'introduction de la mécanisation dans les cultures protégées pour la réalisation des pratiques agricoles et promotion des machines agricoles ;
- Promulgation de textes qui orientent l'agriculture vers des objectifs de durabilité ;
- Sécurisation des agriculteurs, qui devrait se traduire par le respect de la part des irrigants des systèmes de cultures déterminant la demande globale en eau normalisée du périmètre et par la garantie d'une offre en eau qui soit durable.
- Régularisation des statuts fonciers des agriculteurs sans acte de propriété.

## Références bibliographiques:

**Abdel Wali M. 2013.** Integrated pest management and plant hygiene under protected cultivation. In: Duffy R., Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops, Principles for Mediterranean climate areas. FAO edition. Rome. PP 399-425.

**ABHS. 2014.** agence du bassin hydrographique du Sahara (Wilaya de Biskra).

**Aboudrare A. 2009.** Agronomie durable : principes et pratiques, rapport de formation continue. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Rome, Italie. 46 P.

**Abou Kheira A. A., El Shafie A. H. 2007.** Management of sub-surface drip irrigation system and water saving in green house. In : Lamaddalena N (ed.), Bogliotti C (ed.), Todorovic M (ed.), Scardigno A (ed.). Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 1]. Bari : CIHEAM, 2007 . p. 419-437 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 56 Vol. I)

**Allache, F., Y. Bouta et F. Demnati. 2015.** Population development of the tomato moth *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato in Biskra, Algeria. *J. Crop Prot.* 4 (4): 509-517.

**Alletto L., Coquet Y., Benoit P., Heddadj D. et Barriuso E. 2010.** Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *30:367–400.* doi: 10.1051/agro/2009018

**Altieri, M. A. 1995.** Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. Ed: Westview Press. 433 pp.

**Amichi, F., Bouarfa, S., Lejars, C., Kuper, M., Hartani, T., Daoudi, A., Amichi, H., Belhamra, M., 2015.** Des serres et des hommes: des exploitations motrices de l'expansion territoriale et de l'ascension socioprofessionnelle sur un front pionnier de l'agriculture saharienne en Algérie. *Cah. Agric.* 24, 11–19. doi:10.1684/agr.2015.0736.

**ANAT. 2003.** Schéma directeur des ressources en eau de la Wilaya de Biskra, Dossier 2, Agence nationale de l'aménagement du territoire, Algérie.

**Andriantiatsaholiniaina L. A., Kouikoglou V. S., et Phillis Y. A. 2004.** Evaluating strategies for sustainable development: fuzzy logic reasoning and sensitivity analysis. *Ecological Economics* 48, 149–172.

**Andrieu N., Piraux M. et Tonneau J-P., 2007.** Design of sustainability indicators in Brazilian semi-arid area. *Int. J. Sustainable Development*, Vol. 10, Nos. 1/2, 2007.

**Angers, M., 1996.** « Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines ». Edition CEC inc, Québec.

**Azadi H., van den Berg J., Shahvali M., et Hosseininia G. h.. 2009.** Sustainable rangeland management using fuzzy logic: A case study in Southwest Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, 193–200.

**Baptista, F.J., Silva A.T., Navas L.M., Guimarães A.C. et Meneses J.F.. 2012.** Greenhouse Energy Consumption for Tomato Production in the Iberian Peninsula Countries. *Proc. IS on GreenSys2011. Acta Hort.* 952, ISHS 2012: p-409.

**Barbier J. M. et Lopez-Ridaura S.. 2010.** Evaluation de la durabilité des systèmes de production agricoles : limites des démarches normatives et voie d'amélioration. ISDA 2010, innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire. Montpellier, 28 juin – 1 juillet.

**Baroud K.. 2015.** Les effets de l'APFA sur l'intensification agricole. Cas de la wilaya de Laghouat. Thèse de magister. ENSA Alger. 122 P.

**Bechini, L. et Castoldi N.. 2009.** On-farm monitoring of economic and environmental performances of cropping systems: Results of a 2-year study at the field scale in northern Italy. *Ecological Indicators*. 9, 1096–1113.

**Belcher K. W., Boehm M. M., Fulton M. E., 2004.** Agroecosystem sustainability: a system simulation model approach. *Agricultural Systems*. 79, 225–241

**Belhadi, A., Mehenni M., Reguieg L. et Yekhlief H. 2016.** Plasticulture contribution to agricultural dynamism in the ziban region (biskra). *Revue Agriculture*. Numéro spécial (1) 93 – 99.

**Belmessaoud R. 2011.** Durabilité de l'élevage des petits ruminants dans le contexte saharien. Th. Magister. ENSA. 153 p.

**Benidir, M. 2015.** Evaluation multicritère de la durabilité des systèmes d'élevage ovin en zone steppique. Th. Doct. ENSA. 176 p.

**Chapman B., Audrey K. et Roland M. 2013.** Good Agricultural Practices for Small Diversified Farms: Tips and Strategies to Reduce Risk and Pass an Audit. Manuel from: North Carolina State University and the Carolina Farm Stewardship Association. 28p.

**Biewinga E. E. et Van der Bijl G. 1996.** Sustainability of energy crops. A methodology developed and applied. Report no. 234, center for agriculture and environment (CLM), Utrecht, the Netherlands.

**Binder C. R., Giuseppe F., Steinberger J. K., 2010.** Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture. *Environmental Impact Assessment Review*. 30, 71–81.

**Bir A. 2015.** Analyse de la durabilité des systèmes d'élevage bovins laitiers et de leur sensibilité aux aléas climatiques en zones difficiles. Th. Doct. ENSA. 175 p.

**Bockstaller C., Girardin P. van der Werf H. M. G., 1997.** Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy*. 7, 261-270.

**Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S., 2008.** Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 139–149.

**Bockstaller C., Cariolle M., Galan M-B., Guichard L., Leclercq C., Morin A., Surleau-Chambenoit C. 2013.** Evaluation agri-environnementale et choix des indicateurs : acquis, enjeux et pistes. *Innovations Agronomiques* 3, 1-14.



**Bockstaller C., Feschet P., et Angevin F. 2015.** Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators, OCL.22, (1) D102.

**Bockstaller C., Beauchet S., Manneville V., Amiaud B. et Botreau R. 2017.** A tool to design fuzzy decision trees for sustainability assessment. Environmental Modelling & Software, 97, 130-144.

**Bojacá, C. R., Casilimas H. A., Gil R. et Schrevens E. 2012.** Extending the input-output energy balance methodology in agriculture through cluster analysis. Energy, 47 : 465-470.

**Bonny S. 1994.** Les possibilités d'un modèle de développement durable en agriculture. Le cas de la France. Le courrier de l'environnement n°23. INRA. 12 P.

**Bonny S. 2011.** L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. Cahiers agricultures, Vol. 20, n°6, 451-462.

**Bouchemal f., Achour s. 2015.** Qualité physico-chimique et paramètres de pollution des eaux souterraines de la région de Biskra. Larhyss Journal, n°22, 197-212.

**Boulard T. 2008.** Peut-on consillier production sous serre et développement durable ? serre horticoles et energie, quel avenir ? INRA-URIH. 27 P.

**Bouthier A., Pelosi C., Villenave C., Peres G., Hedde M., Ranjard L., Vian J. F., Peigne J., Cortet J., Bispo A., Piron D. 2014.** Impact du travail du sol sur son fonctionnement biologique, in: Labreuche J., laurent F., roger-estrade J., Faut-il travailler le sol ? Acquis et innovation pour une agriculture durable. Edition Quae, Arvalis. pp. 89-108.

**Buck L. E., Milder J. C., Gavin T. A. et Mukherjee I. 2006.** Understanding Ecoagriculture: A Framework for Measuring Landscape Performance. Department of Natural Resources, Cornell University, Ithaca, NY.54 p.

**Calow P. 1998.** The Encyclopedia of Ecology & Environmental Management. Blackwell Science.PP 805.

**Campiglia, E., Colla G., Mancinelli R., Roupael Y., Marucci A. 2007.** Energy Balance of Intensive Vegetable Cropping Systems in Central Italy. Proc. VIIIth IS on Protected Cultivation in Mild Winter Climates. Acta Hort. 747, ISHS 2007: 185-192.

**Canakci, M et I. Akinici. 2006.** Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. Energy, 31, 1243-1256.

**Cassman K. G. (1999).** Ecological Intensification of Agriculture and Implications for Improved Water and Nutrient Management.23-34.

**Castoldi, N. et Bechini L. 2010.** Integrated sustainability assessment of cropping systems with agro-ecological and economic indicators in northern Italy. Europ. J. Agronomy. 32, 59–72.

**CDF: Creative Decisions Foundation, 2001.** [www.superdecisions.com](http://www.superdecisions.com). Consulter le : 03 août 2017.

**Chapman B., Audrey K. et Roland M. 2013.** Good Agricultural Practices for Small Diversified Farms: Tips and Strategies to Reduce Risk and Pass an Audit. Manuel from: North Carolina State University and the Carolina Farm Stewardship Association. 28p.

**Cothren J. 2016.** Advantages of Crop Rotation \_ North Carolina Cooperative Extension.pdf. <https://wilkes.ces.ncsu.edu/2014/12/advantages-of-crop-rotation/>. Accessed 25 Nov 2016

**Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T., 2011.** MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 133 p.

**Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., et Doré T. 2012.** MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. Innovations Agronomiques, 20, 35-48

**Crews T. E. 2005.** Perennial crops and endogenous nutrient supplies. Renewable Agriculture and Food Systems: 20(1); 25–37.

**Crews T. E., Mohler C. L., et Power A. G. 1991.** Energetics and ecosystem integrity: The defining principles of sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*. Volume 6, Number 3, 146-149.

**D’Souza, G., Cyphers, D. et Phipps T 1993.** Factors Affecting the Adoption of Sustainable Agricultural Practices. *AgricResour Econ Rev* 159–165. doi: 10.1017/S1068280500004743

**Dahl A. L. 2012.** Achievements and gaps in indicators for sustainability. *Ecological Indicators*. 17, 14–19.

**Dantsis T., Douma C., Giourga C., Loumou A., Polychronaki E.A., 2010.** A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. *Ecological Indicators*. 10, 256–263.

**Daoudi A. et Wampfler B. 2010.** Le financement informel dans l’agriculture algérienne : les principales pratiques et leurs déterminants. *Cah. Agric.* Vol. 19, N° 4, 243-248.

**Daoudi, A. et Colin J.P. 2016.** Land policy and land markets on the agricultural frontier in arid Algeria. “2016 world bank conference on land and poverty” the world bank - washington dc, march 14-18, 2016.

**DeHaan L.R., Van Tassel D.L., et Cox T.S. 2005.** Perennial grain crops: A synthesis of ecology and plant breeding. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 20(1); 5–14.

**Del’homme B. 2005.** Evaluation de la durabilité des exploitations viticoles dans le vignoble bordelais – Méthode et résultats. *OENOMETRIE XII – 27-28 mai 2005 – MACERATA (Italie)*.

**Diazabakana A., Latruffe I., Bockstaller C., Desjeux y., Finn j., Kelly e., Ryan m., Uthes S., 2014.** A review of farm level indicators of sustainability with a focus on cap and fadn. *FLINT Framework Programme*. 101 P. Djevic, M. and A. Dimitrijevic. 2009. Energy consumption for different greenhouse constructions. *Energy*, 34: 1325–1331.

**Dordas C. 2008.** Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *AgronSustainDev* 28:33–46. doi: 10.1051/agro:2007051

**DSA, 2012.** Direction des services agricoles. Biskra.

**DSA, 2014.** Direction des services agricoles, Biskra.

**Dubost D. 2002.** Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Edition : CRSTRA. 423 P.

**Dusfour I., Achee N. L., Briceno I., King R. et Grieco J. P. 2010.** Comparative data on the insecticide resistance of *Anopheles albimanus* in relation to agricultural practices in northern Belize, CA. *J. Pest. Sci.* 83:41–46. DOI 10.1007/s10340-009-0268-7.

**Dusseux P., Vertès F., Corpetti T., Corgne S. et Hubert-Moy L. 2014.** Agricultural practices in grasslands detected by spatial remote sensing. *Environ Monit Assess.* 186: 8249–8265.

**EEA: European Environmental Agency. 1995.** Environmental indicators: typology and use in reporting. EEA internal working paper.

**Elings, A., F.L.K. Kempkes, R.C. Kaarsemaker, M.N.A. Ruijs, N.J. van de Braak et T.A. Dueck. 2005.** The Energy Balance and Energy-Saving Measures in Greenhouse Tomato Cultivation. *Proc. IC on Greensys. Acta Hort.* 691, ISHS 2005 : 67-74.

**Encyclopedia of Food and Agricultural Ethics. 2014.** P.B. Thompson, D.M. Kaplan (eds.), DOI 10.1007/978-94-007-0929-4, # Springer Science+Business Media Dordrecht.

**Estrada-Acosta M., Jiménez M., Chaidez C., León-Félix J. and Castro-del Campo N. 2014.** Irrigation water quality and the benefits of implementing good agricultural practices during tomato (*Lycopersicon esculentum*) production. *Environ. Monit. Assess.* 186:4323–4330.

**Fadavi, R., Keyhani A. et Mohtasebi S.S. 2011.** An analysis of energy use, input costs and relation between energy inputs and yield of apple orchard. *Res. Agr. Eng.* 57(3): 88-96.

**FAO. 1998.** Guide to efficient plant nutrition management. Rome : FAO. 28 p.

**FAO. 2009.** Glossaire de l’agriculture biologique. Rome : FAO. 163 p.

**Farooq M. et Kadambot H.M.S. 2015.** Conservation Agriculture. Springer. 665p.

**Féret S. et Douguet J.M. 2001.** agriculture durable et agriculture raisonnée : quelles principes et quelles pratiques pour la soutenabilité du développement en agriculture ? Nature Sciences Sociétés. Vol 9, N° 1, 58-64.

**Ferguson R.S. et Lovell S.T. 2014.** Permaculture for agroecology: design, movement, practice, and worldview. A review. Agron. Sustain. Dev. 34:251–274.

**Firbank L.G., Elliott J., Drake B., Cao Y., Gooday R. 2013.** Evidence of sustainable intensification among British farms. Agriculture, Ecosystems and Environment. 173, 58– 65.

**Florentín MA, Peñalva M, Calegari A, et al. 2011.** Green Manure/Cover Crops and Crop Rotation in Conservation Agriculture on Small Farms, FAO, Rome.

**Food and Drug Administration. 1998.** Guidance for industry: Guide to minimize microbial food safety hazards for fresh fruits and vegetables. Fed Regist Oct 20 2004:49.

**Fortun-Lamothe L. 2008.** Durabilité des pratiques d'élevage du lapin de chair en France. INRA Productions Animales, 21 N° 3, 251-256.

**Gafsi Mohamed. 2006.** Exploitation agricole et agriculture durable. Cahiers agricultures. Vol. 15, n° 6, 491-497.

**Gallopín G.C. 1996.** Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach Environmental Modeling and Assessment. 1, 101-117.

**Gebremariam G. et Tobias W. 2016.** Combining sustainable agricultural practices pays off: evidence on welfare effects from Northern Ghana. the 5th International Conference of the African Association of Agricultural Economists, September 23-26, 2016, Addis Ababa, Ethiopia.

**Geng Q., Wu P., Zhao X., Wang Y. 2014.** A framework of indicator system for zoning of agricultural water and land resources utilization: A case study of Bayan Nur, Inner Mongolia. Ecological Indicators. 40, 43–50.

**Gerber M., Astigarraga L., Bockstaller C., Fiorelli J. L., Hostiou N., Ingrand S., Marie M., Sadok W., Veysset P., Ambroise R., Peigné J., Plantureux S. et Coquil X. 2009.** Le modèle Dexi-SH\* pour une évaluation multicritère de la durabilité agro-écologique des systèmes d'élevage bovins laitiers herbagers. *Innovations agronomiques*, 4, 249-252.

**Ghisellini P., Zucaro A., Viglia S., Ulgiati ., 2014.** Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. *Ecological Modelling*. 271, 132– 148.

**Ghozlane F., Boussad B. et Yakhlef H. 2010a.** impact du fonds national de régulation et de développement agricole sur la durabilité du bovin laitier dans la wilaya de Tizi ouzou (Algérie). *New Medit*. 3, 22-27.

**Ghozlane F., Yakhlef H., Bousbia A. 2010b.** Evaluation de la durabilité des systèmes d'élevage bovin locaux dans la région d'El Tarf (Algérie). *Communication de Congrès*. Édition : Paris; Institut de l'élevage.

**Girardin P., Bockstaller C. et Van der Werf H., 1999.** Indicators: Tools to Evaluate the Environmental Impacts of Farming Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13:4, 5-21, DOI: 10.1300/J064v13n04t\_03.

**Global G.A.P 2011.** Global G.A.P: Annual Report 2011.

**Gómez-Limón J.A. et Riesgo L. 2009.** Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: An application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 3345–3362.

**Gómez-Limón J.A., Sanchez-Fernandez G. 2010.** Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*. 69, 1062–1075.

**Graymore M.L.M., Wallis A.M., Richards A.J. 2009.** An Index of Regional Sustainability: A GIS-based multiple criteria analysis decision support system for progressing sustainability. *Ecological Complexity*. 6, 453–462.

**Griffon M. 2007.** L'agriculture intensive devra connaître des changements inévitables. *Ca Agr.* vol. 16, n°2, pp : 85-86. DOI : 10.1684/agr.2007.0084.

**Griffon Michel. 2013.** Pour des agricultures écologiquement intensives. Édition Quae, 224 p.

**Gruda N., Qaryouti M.M. et Leonardi C. 2013.** Growing media. In: Duffy R., *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops, Principles for Mediterranean climate areas.* FAO edition. Rome. PP 271-301.

**Guillaumin A., Dockers A.C., Palazon R. 2009.** La contribution des exploitations d'élevage au développement durable : état des lieux des méthodes d'évaluation et résultats. *Renc. Rech. Ruminants.* 16, 85-92.

**Hai L.T., Hai P.H., Ha P.T.T., Ha N.M., Dai L.T., H. P.V., Huan N.C., et Cam L.V., 2013.** A System of Sustainability Indicators for the Province of Thai Binh, Vietnam. *Soc Indic Res.* DOI 0.1007/s11205-013-0315-x.

**Hamamouche M.F., Kuper M, Lejars C. 2015.** Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. *Cahiers Agricultures*, 24 : 412-419. doi : 10.1684/agr.2015.0777.

**Hatirli, S. A., B. Ozkan et C. Fert. 2006.** Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31 : 427–438.

**Hayati D., Ranjbar Z., et Karami E., 2011.** Measuring Agricultural Sustainability: E. Lichtfouse (ed.), *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture, Sustainable Agriculture Reviews.* 5, PP: 73-101.

**Hedau, N.K., Tuti M.D., Stanley J., Mina B.L., Agrawal P.K., Bisht J.K. et Bhatt J.C. 2014.** Energy-use efficiency and economic analysis of vegetable cropping sequences under greenhouse condition. *Energy Efficiency*, 7 (3) : 507-516.

**Heidari, M.D. et M. Omid. 2011.** Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy* 36: 220-225.

**Herrchen M. et Klein W. 1998.** Sustainable development, agricultural practices and the use of plant protection products. The Scientific View: Life-Cycle Assessment Methodologies. In: D. M. Pugh et al. (eds.), Regulation for Chemical Safety in Europe: Analysis, Comment and Criticism. PP 127-138.

**Huang S., Wang L., Liu L., Fu Q. et Zhu D. 2014.** Nonchemical pest control in China rice: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 34:275–291. DOI 10.1007/s13593-013-0199-9.

**Jara-Rojas R., Bravo-Ureta B. E., Díaz J. 2012.** Adoption of water conservation practices: A socioeconomic analysis of small-scale farmers in Central Chile. *Agricultural Systems* 110: 54–62.

**Jordan C.F. 2013.** An Ecosystem Approach to Sustainable Agriculture: Energy Use Efficiency in the American South, Environmental Challenges and Solutions 1. Ed. Springer Science & Business Media Dordrecht. DOI 10.1007/978-94-007-6790-4\_5.

**Juwana I., Muttill N., Perera B. J. C., 2012.** Indicator-based water sustainability assessment — A review. *Science of the Total Environment.* 438, 357–371.

**Kanda M., Wala K., Batawila K., Djaneye-Boundjou G., Ahanchede A. et Akpagana K. 2009.** Le maraichage périurbain à Lomé : pratiques culturelles, risques sanitaires et dynamiques spatiales. *Cah. Agric.* Vol 18, n° 4, 356-363.

**Khiari A. 2002.** Une région pionnière dans le Sahara algérien : El Ghrouss. In : Méditerranée, Tome 99, 3-4-2002. Le Sahara, cette « autre Méditerranée » (Fernand Braudel). pp. 27-30.

**Kuepper G. et Lance G. 2004.** Organic crop production overview, fundamentals of sustainable agriculture. Fayetteville, AR: ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. 28 p.

**Kwatra S., Kumar A., Sharma P., Sharma S., Singhal S. 2015.** Benchmarking sustainability using indicators: An Indian case study. *Ecol. Indicat.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.049>.



**Lal R., Reicosky D.C., Hanson J.D. 2007.** Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res* 93:1–12. doi: 10.1016/j.still.2006.11.004

**Le Gallic, Mardle B., S. et Boncoeur J. 2006.** Les objectifs d'une politique publique vus par les acteurs : une analyse multicritères de la politique commune de la pêche. *Économie publique/Public economics*, URL : <http://economiepublique.revues.org>.

**Medina, A., Cooman A., Parrado C.A. et Schrevens E. 2006.** Evaluation of Energy Use and Some Environmental Impacts for Greenhouse Tomato Production in the High Altitude Tropics. Proc. IIIrd IS on HORTIMODEL2006. *Acta Hort.* 718, ISHS 2006: 415-422.

**Meul M., Van Passel S., Nevens F., Dessen J., Rogge E., Mulier A., Van Hauwermeiren A. 2008.** MOTIFS: a monitoring tool for integrated farm sustainability. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 321–332.

**Mohammadi, A et Omid M. 2010.** Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran, *Appl. Energy*, 87:191-196.

**Molden D., Oweis T., Steduto P., Bindraban P., Hanjra M.A., Kijne J. 2010.** Improving agricultural water productivity: between optimism and caution, *Agricultural Water Management*, 97 (4), 528–535

**Murphy K., Lammer D., Lyon S., Carter B. et Jones S.S. 2005.** Breeding for organic and low-input farming systems: An evolutionary–participatory breeding method for inbred cereal grains. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 20(1); 48–55.

**Murua J.R., Laajimi A. 1995.** Transition de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture durable : quelques réflexions. In : Zekri S. (ed.), Laajimi A. (ed.). *Agriculture, durabilité et environnement*. Zaragoza : CIHEAM, 1995. p. 75-86. (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 9). Séminaire de l'Association Tunisienne des Anciens de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Zaragoza (ATA-IAMZ), 1993/12/02-03, Tunis (Tunisia).  
<http://om.ciheam.org/om/pdf/c09/96605581.pdf>

**Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., Giovannini, E., 2008.** Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Joint Research Center – OECD, Paris.

**National Sustainable Agriculture Information Service (USA). 2004.** Introduction to permaculture: concepts and resources. Fayetteville, AR: ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. [www.attra.org/attra-pub/perma.html](http://www.attra.org/attra-pub/perma.html). Visité le 20/10/2016.

**OCDE. 1993.** Corps central d'indicateurs de l'OCDE pour l'examen des performances environnementales. Rapport de synthèse du groupe sur l'état de l'environnement. Monographie sur l'environnement, 83.

**OCDE, 2001.** Multifonctionnalité : élaboration d'un cadre analytique. Paris : OCDE, 177 p.

**Othman T., 2010.** « Mise en valeur agricole et dynamiques rurales dans le Touat, le Gourrara et le Tidikelt (Sahara algérien) ». Thèse de doctorat en géographie et aménagement du territoire, Université de Franche-Comté, France.

**Ozkan B., Kurklu A et Akcaoz H. 2004.** An input--output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. Biomass Bioenergy, 26: 189-95.

**Ozkan, B. R. Figen Ceylan, H. Kizilay. 2011.** Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. Renewable Energy, 36: 1639-1644.

**Pacini C., Wossink A., Giesen G., Vazzana C., Huirne R. 2003.** Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment 95, 273–288.

**Pahlavan, R., Omid M. et Akram A.. 2011.** Energy use efficiency in greenhouse tomato production in Iran. Energy 36: 6714-6719.

**Peet, M.M. et Welles G. 2005.** Greenhouse tomato production. Tomatoes. Pp: 275-304. In: Crop Production Science in Horticulture. (ed. E Heuvelink, Wageningen University, The Netherlands). 352 P.

**Pervanchon F. et Blouet A. 2003.** Jeux et enjeux de mot : cas de l'adjectif « durable ». Bois et forêt des tropiques. N° 275. PP 37-50.

**Pittelkow C.M., Liang X., Linqvist B.A., Groenigen K.J.v., Lee J., Lundy M.E., van Gestel N., Six J., Venterea R.T. et van Kessel C. 2014.** Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*; 517 (7534): 365-8. doi:10.1038/nature13809.

**Praneetvatakul S., Janekarnkij P., Potchanasin C., Prayoonwong K., 2001.** Assessing the sustainability of agriculture A case of Mae Chaem Catchment, northern Thailand. *Environment International*. 27, 103–109.

**Prato T. 2007.** Assessing ecosystem sustainability and management using fuzzy logic. *Ecological economics*. 61, 171–177.

**Pugnet, L. et Maillé E. 2013.** Analyse multicritères pour l'évaluation de la vulnérabilité des interfaces habitat-forêt. International conference on forest fire risk modelling and mapping, Aix en Provence, France.

**Qirui L., Amjath-Babu T.S., Zander P.r, Liu Z. et Müller K., 2016.** Sustainability of Smallholder Agriculture in Semi-Arid Areas under Land Set-aside Programs: A Case Study from China's Loess Plateau. *Sustainability* 2016, 8, 395."

**QIU H., ZHU W., WANG H. et CHENG X., 2007.** Analysis and Design of Agricultural Sustainability Indicators System. *Agricultural Sciences in China*, 6(4): 475-486.

**Rajaram T. et Das A. 2010.** Modeling of interactions among sustainability components of an agro-ecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications* 37, 1734–1744.

**Rametsteiner E., Pulzl H., Alkan-Olsson J., Frederiksen P. 2011.** Sustainability indicator development—Science or political negotiation? *Ecological Indicators*. 11, 61–70.

**Ramos, A., Cunha L. et Cunha P.P. 2014.** Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal : (a) Figueira da Foz – Nazaré. *Geo-Eco-Trop.*, 38 (1): 33-44.

**Rasooli Sharabiani V. et Ranjbar I., 2008.** Determination of the Degree, Level and Capacity Indices for Agricultural Mechanization in Sarab Region. *J. Agric. Sci. Technol.* Vol. 10: 215-223.

**Rasul G. et Thapa G.B., 2004.** Sustainability of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh: an assessment based on environmental, economic and social perspectives. *Agricultural Systems.* 79, 327–351.

**Reig-Martinez E., Gomez-Limon J.A., Picazo-Tadeo A.J., 2011.** Ranking farms with a composite indicator of sustainability. *Agricultural Economics.* 42, 561–575.

**Rekibi, F. 2015.** Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra. Thèse de Magister. Université Mohamed Kheider, Biskra. 148 P.

**Rezaei-Moghaddam K. et Karami E. 2008.** A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environ. Dev. Sustain.* 10:407–426. DOI 10.1007/s10668-006-9072-1

**Roy, R. et Chan N.W. 2012.** An assessment of agricultural sustainability indicators in Bangladesh: review and synthesis. *Environmentalist.* 32, 99–110.

**Saaty, T.L. 2008.** Decision making with the analytic hierarchy process. *international journal services sciences,* 1 (1) : 83-98.

**Saaty, T.L. et Luis G.V. 2006.** Decision making with the analytic network process, New York, NY 10013, USA, Springer Science + Business Media LLC.

**Sabiha N., Salim R., Rahman S., Rola-Rubzen M.F. 2016.** Measuring environmental sustainability in agriculture: A composite environmental impact index approach. *Journal of Environmental Management.* 166, 84-93.

**Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Landé N., Coquil X., Messéan A., Bohanec M., Doré T., 2007.** An indicator-based MCDA framework for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Farming Systems Design, Catania, Sicily, Italy,* 193-194.

**Sala S., Ciuffo B., Nijkamp P. 2015.** A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 119, 314–325.

**Samavatean, N., Rafiee S. et Mobli H. 2011.** An Analysis of Energy Use and Estimation of a Mechanization Index of Garlic Production in Iran. *Journal of Agricultural Science* 3 (2): 198-205.

**Sarkar A, Patil S, Hugar LB, vanLoon G. 2011.** Sustainability of current agriculture practices, community perception, and implications for ecosystem health: an Indian study. *Ecohealth* 8:418–431. doi: 10.1007/s10393-011-0723-9

**Singh, H., Mishra D. et Nahar N.M. 2002.** Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India-Part I. *Energy Conversion Manage*, 43: 2275-86

**Singh, G. 2006.** Estimation of a Mechanization Index and Its Impact on Production and Economic Factors-a Case Study in India. *Biosystems Engineering*, 93(1): 99-106.

**Singh R.K., Murty H.R., Gupta S.K., Dikshit A.K. 2009.** An overview of sustainability assessment methodologies.ecological indicators. 9, 189–212.

**Singh R. K., Murty H.R., Gupta S.K., Dikshit A.K., 2012.** An overview of sustainability assessment methodologies.Ecological Indicators. 15 281–299.

**Spalding R. F. et Exner M. E. 1992.** Occurrence of Nitrate in Groundwater—A Review. *J. Environ. Qual.* 22:392-402. doi:10.2134/jeq1993.00472425002200030002x.

**Srouf G., Marie M. et Abi Saab S. 2009.** Evaluation de la durabilité des élevages de petits ruminants au Liban. *Options Méditerranéennes*, A no. 91, pp : 21-35.

**Sydorovych O. et Wossink A. 2008.** The meaning of agricultural sustainability: Evidence from a conjoint choice survey. *Agricultural Systems*. 98, 10–20.

**Tacnet, J.M. 2009.** Prise en compte de l'incertitude dans l'expertise des risques naturels en montagne par analyse multicritère et fusion d'information. Phd. Thesis. *Environnemental Sciences*. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France.

**Taylor D.C., Mohamed Z.A., Shamsudin M.N., Mohayidin M.G. et Chiew E.F.C., 1993.** Creating a farmer sustainability index : a Malaysian case study. *American Journal of Alternative Agriculture*, 8, 175-184.

**Terrier M., Gasselin P. et Le Blanc J. 2010.** Evaluer la durabilité des systèmes d'activités des ménages agricoles pour accompagner les projets d'installation en agriculture. La méthode EDAMA. ISDA, Montpellier. 13 p.

**Thompson, R.B., Gallardo, M., Giménez, C., Fernandez, M.D., 2007.** Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. *Agric. Water Manage.* 89, 261–274.

**Tuzel Y. 2013.** Cultural practices. In: Duffy R., *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops, Principles for Mediterranean climate areas.* FAO edition. Rome. PP 379-397.

**Van Cauwenbergh N., Biala K., Biolders C., Brouckaert V., Franchois L., Garcia Ciudad V., Hermy M., Mathijs E., Muys B., Reijnders J., Sauvenier X., Valckx J., Vanclooster M., Van der Veken B., Wauters E., Peeters A., 2007.** SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 120, 229–242.

**Van der Werf H.M.G. et Petit J., 2002.** Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93, 131–145.

**Verburg R., FilhoSaulo R., Debortoli N., Lindoso D., Nesheim I., et Bursztyn M. 2014.** Evaluating sustainability options in an agricultural frontier of the Amazon using multi-criteria analysis. *Land Use Policy.* 37, 27– 39.

**Vian, J.F. 2009.** Comparison of different tillage systems in organic farming: effect of soil structure and organic matter repartition on soil micro-organisms and their activities of carbon and nitrogen mineralization. *Sciences of the Universe. Agro Paris Tech.*

**Vijayakumar, M.N., Suresh A.V. et Subramanaya K.N. 2010.** Application of an Analytical Hierarchy Process to Prioritize the Factors Affecting ERP Implementation. *International Journal of Computer Applications*, 2(2): 1-6.

**Vilain L. 1999.** De l'exploitation agricole à l'agriculture durable. Aide méthodologique à la mise en place de systèmes agricoles durables. Educagri 2<sup>e</sup> édition. Dijon. France.

**Vilain, L., Girardin, P., Mouchet, C., Viaux, P., et Zahm, F. 2008.** La méthode IDEA, indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation, Dijon version 3. Educagri. Ed. <http://www.idea.portea.fr/>.

**Von Wirén-Lehr S. 2001.** Sustainability in agriculture — an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 84, 115–129.

**Walter, C. et Stützel H. 2009.** A new method for assessing the sustainability of land-use systems (II): Evaluating impact indicators. *Ecological economics*. 68, 1288–1300.

**WCED, 1987.** Our Common Future. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford.

**Yakhlef H., Ghozlane F., et Bir A. 2005.** Essai de l'application de la méthode des indicateurs de la durabilité des exploitations agricoles (IDEA) dans le contexte de l'élevage bovin laitier de la zone semi-aride de Setif (Algérie) *Annales de l'Institut National Agronomique*, El Harrach, Vol. 26, N° 1 et 2, 95-109.

**Yang S. et Mei X. 2017.** A sustainable agricultural development assessment method and a case study in China based on Euclidean distance theory. *Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.022.

**Yegbemey R.N., Yabi J.A., Dossa C.S.G. et Bauer S. 2014.** Novel participatory indicators of sustainability reveal weaknesses of maize cropping in Benin. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 909–920.

**Zahm F., Viaux P., Vilain L., Girardin P. et Mouchet C. 2004.** La méthode IDEA (indicateurs de la durabilité des exploitations agricoles) : une méthode de diagnostic pour

passer du concept de durabilité à son évaluation à partir d'indicateurs. PEER conference, 17-18 novembre 2004. Helsinki, Finland.

**Zahm F. 2003.** Méthode de diagnostic des exploitations agricoles et indicateurs : panorama et cas particuliers appliqués à l'évaluation des pratiques phytosanitaires. Ingénieries, N° 33, p. 13-34.

**Zella, L. et Smadhi D. 2009.** Micro-irrigation de la tomate sous serre. Courrier du Savoir, N° 09: 119-126

**Zhou D., Lin Z., Liu L., Zimmermann D. 2013.** Assessing secondary soil salinization risk based on the PSR sustainability framework. Journal of Environmental Management. 128, 642-654.



# Annexes

## Annexe 01 : Pré-enquête

**Tableau :** Pré-enquête: Critères de choix des exploitations à retenir

Date : .....Daïra/commune/lieux dit.....

Coordonnées agriculteur.....

Critères	Critères physiques														
	Sol		Nappe		Ancienneté		Même exploitation		Origine				Statut		
Agriculteur	F. Filtrant	Non. Filtrant	Superficiel	Profond	< 12 ans	> 12 ans	Oui	Non	Local	Sud	Nord	Autres	Propriétaire	Gérant	Locataire
1															
2															
3															
.															
.															
60															

Système étudié												
Superficie serres/SAU			Type de serres			âge des serres			Cultures pratiquées		Irrigation	
100%	> 50%	< 50%	S. Tunnels	Grde.serres	les deux types	Nouvelles	1 an	2 ans	DominanceC.Habituelle	Autres/nouvelles spéculations	G à G	Autres

**Annexe 02 : cahier de l'agriculteur (enquête proprement dite)**

Nom agriculteur..... tel

.....

SAT..... (ha)

SAU..... (ha)

Daïra : .....Commune : ..... Lieux dit.....

Origine : .....

1. Critères physiques					2. Critères sociaux							
Sol		Nappe			Même exploitation		Statut					
perméable	N. perméable	Nombre des forages : .....			Oui	Non	Propriétaire	Année	Gérant	Année	Locataire	
		For1	Année	prof							Type	Coût /saison /serre
											Serres	
											Eau	
Analyse des sols											Terre	
oui	non										Matériel	
											Electricité	

### 3. Système étudié

nombre de serres		Occupation des serres sur la même parcelle		Nombre de serre/type de culture/campagnes			Irrigation		
Tunnels	Canariennes	1 an 2 ans 3 ans 4 ans 5 ans >5 ans			2012	2013	2014	G à G	gravitaire
				Tomate					
				Piment					
				Poivron					
				Courgette					
				concombre					
				Aubergine					
				Melon					

**Campagne 2014 – 2015 : répartition des cultures par surface (ha) et animal par tête.**

Production végétale		Production animale	
Cultures maraichères sous serre		ovin	
Cultures en plein champs		caprin	
Céréales		camelin	
Arboriculture fruitiers	Oliviers	volailles	
	Abricotiers		
	Figuiers		
	Agrumes		
Palmier dattier		Apicultures (nombre de ruches)	

**Rotation agricole sous serre :**

Année 1 2012/2013	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Année 1 2013/2014	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

Année 1 2014/2015	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	

**Rotation agricole en plein champs :**

Année 1 2012/2013	Culture	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	





## Travail du sol :

N°	Opérations		Périodes	Quantité (Kg/serre)	équipements utilisés	Nombre d'ouvriers	Nombre de passages	Coût	Nombre d'heures
1	Epannage de la fumure organique	Bovin							
		Ovin							
		volailles							
2	Epannage de la fumure minérale de fond								
4	Labour profond				Charrue à socs				
5	Ameublissement de sol				Charrue à disques				
6	Mélange de fumier				rotavator				
6	Confection des billons				Billonneuse				

**Matériels et équipements :**

<b>Opération</b>	<b>Nom du matériel</b>	<b>Propriétaire</b>	<b>Locataire</b>	
			<b>coût /l'heure</b>	<b>Nombre d'heure/campagne</b>
<b>Travail du sol</b>	<b>Charrue à socs</b>			
	<b>Charrue à disques</b>			
	<b>Rotavator</b>			
	<b>Billonneuse</b>			
	<b>Tracteur</b>			
<b>Traitement phytosanitaire</b>	<b>Pulvérisateur à dos (16L)</b>			
	<b>Pulvérisateur à moteur</b>			

### Installation et déplacement des serres :

N°	Opérations par serre	Période (mois)	Coût (DA) Main d'oeuvre	Nombre d'ouvrier/serre	Nbr. Heures de travail /serre
1	Montage de squelette d'une serre				
2	Fil galvanisé				
3	Bâchage /bâche d'une serre				
4	Débâchage d'une serre				
5	Déplacement d'une serre				

### Coût d'achat

N°	Désignation	Quantité / serre	Coût (DA) / serre
1	Squelette d'une serre		
2	Fil galvanisé		
3	Plastique		
4	Fil de palissage		
5	Plastique de paillage		

Variétés Cultivées	Règle de décision (choix des variétés)		Provenance/Production des jeunes plants	Coût plant (DA)	Nombre de plants / serre
<b>Tomate :</b>	<b>1. Résistance aux maladies</b> <b>2. Calibre</b> <b>3. Coût de semence</b> <b>4. Habitude</b>	<b>5. Dictée par le vendeur</b> <b>6. Marché</b> <b>7. Exigences de la culture</b>	- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché		
<b>Piment :</b>	<b>1. Résistance aux maladies</b> <b>2. Calibre</b> <b>3. Coût de semence</b> <b>4. Habitude</b>	<b>5. Dictée par le vendeur</b> <b>6. Marché</b> <b>7. Exigences de la culture</b>	- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché		
<b>Poivron :</b>	<b>1. Résistance aux maladies</b> <b>2. Calibre</b> <b>3. Coût de semence</b> <b>4. Habitude</b>	<b>5. Dictée par le vendeur</b> <b>6. Marché</b> <b>7. Exigences de la culture</b>	- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché		
<b>Courgette :</b>	<b>1. Résistance aux maladies</b> <b>2. Calibre</b> <b>3. Coût de semence</b> <b>4. Habitude</b>	<b>5. Dictée par le vendeur</b> <b>6. Marché</b> <b>7. Exigences de la culture</b>	- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché		
<b>Melon :</b>	<b>1. Résistance aux maladies</b> <b>2. Calibre</b> <b>3. Coût de semence</b> <b>4. Habitude</b>	<b>5. Dictée par le vendeur</b> <b>6. Marché</b> <b>7. Exigences de la culture</b>	- Sur exploitation - Pépinière agréée - Voisin - Marché		

**Culture dominante :**

.....  
 .....

N°	Opérations	Distance de plantation (cm)		Période (mois)	Nombre d'heure de travail /serre	Nombre d'ouvriers	Coût(DA) main d'œuvre/serre
		Entre rangs	Entre plants				
1	Semis			..... Début : Milieu :Fin :			
2	Plantation			..... Début : Milieu : Fin :			
3	Ebourgeonnage/ Eclaircissage des fruits						
4	Effeuilage						
5	Palissage						
6	Tuteurage						
7	Taille						
8	Application de chaux ou d'argile sur le plastique						
9	Gestion des mauvaises herbes	Binage					
		herbicides sélectifs					
		Paillage plastique					
10	L'aération			Saison	Nombre d'heures H/nuit		
				Sep-Nov			
				Dec-Jan			
				Fév-Avr			
				Mai-Juin			

## 11. Fertilisation :

Type	Produit	Quantité/serre (Kg/L)	Nombre de fois/serre/saison	Coût (DA)/serre
Engrais	TSP 46%/26			
	15.15.15			
	20.20.20			
	12.12.34/36/44			
	12.61.00			
	Urée 46 %			
	42.10.10			
	10.52/50.10			
	18.44.00			
	17.44.00			
	20.50.10			
	27.27.27			
	18.69.11			
	18.11.59			
Acides Humiques				
stimulateurs et Oligo-éléments	Acides aminés,			
	Chélate de fer			
	Calcium			
	Oligo-éléments			
	Algues			
Autres				

## 12. Irrigation :

### Caractéristiques du système d'irrigation

Bassin		Lignes				Goutteurs		Marque de la gaine
Type	Dimensions	Type	Situation	Espacement	Nombre/serre	Espacement	Débit	
En terre		Jumelées	Enterrées					
En béton		Séparées	En surface					
Pas de bassin								
Coût d'installation d'un réseau d'irrigation par serre (DA) : .....								

### Gestion de l'irrigation

Période	Nombre d'heures d'irrigation	Fréquence (jours)	Motif du choix de la fréquence
Automne (Sept-Nov)			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sol</li> <li>2. Etat de la plante</li> <li>3. Climat</li> <li>4. Habitude</li> </ol>
Hiver (Déc-fev)			
Printemps (Mars –Avril)			
Été (Mai –Juin)			

### 13. Traitement phytosanitaire :

Cible		Nom du Produit	Dose/serre	Nombre de fois/campagne	Stade de culture/Période(mois)	Coût de produit (DA)
<b>Ravageurs</b>	<b>1. Mouche blanche</b>	1. 2.				
	<b>2. Puceron</b>	1. 2.				
	<b>3. Acariens</b>	1. 2.				
	<b>4. Ver blanc</b>	1. 2.				
	<b>5. La Mineuse</b>	1. 2.				
	<b>6. Nématode</b>	1. 2.				
	<b>7. Noctuelle</b>	1. 2.				
<b>M al a</b>	<b>1. Oïdium</b>	1.				



		2.				
	<b>2. Mildiou</b>	1. 2.				
	<b>3. Botrytis</b>	1. 2.				
	<b>4. Fusariose</b>	1. 2.				

<b>Raisons du choix du produit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Par habitude</b></li> <li>- <b>Conseils (vendeur, autre agriculteur)</b></li> <li>- <b>Coût d'achat du produit</b></li> </ul>
<b>Que portez-vous lors des traitements ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Masque</b></li> <li>- <b>Gants</b></li> <li>- <b>Lunette</b></li> <li>- <b>Tenue</b></li> <li>- <b>Aucun moyen de protection</b></li> </ul>
<b>Que faites-vous des restes de cuves ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Réutiliser sur plantes</b></li> <li>- <b>Déverser sur le sol</b></li> </ul>
<b>Que faites-vous de l'eau de rinçage ?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Réutiliser sur plantes</b></li> <li>- <b>Déverser sur le sol</b></li> </ul>

**14. Récolte & Vente :**

<b>Culture</b>	<b>Nombre de récolte/serre /campagne</b>	<b>Nombre des heures</b>	<b>Nombre d'ouvriers</b>	<b>Rendement/serre/campagne</b>	<b>Coût du Transport/campagne</b>	<b>Prix moyen de vente</b>
<b>Tomate</b>						
<b>Piment</b>						
<b>Poivron</b>						
<b>Courgette</b>						
<b>Concombre</b>						
<b>Melon</b>						
<b>Aubergine</b>						

### Annexe 03 : Comparaison des critères

Abréviation	Description
<b>BID</b>	Présence d'autres cultures dans la ferme
<b>CHI</b>	Quantité des intrants chimiques (fertilisants et pesticides)
<b>EMP</b>	Nombre de travailleurs permanents et saisonniers
<b>HES</b>	Risque d'exposition des travailleurs à l'intoxication à cause des intrants chimiques
<b>IRR</b>	Système d'irrigation utilisé comme moyen de préservation des ressources hydriques
<b>LIQ</b>	Le bien-être de l'agriculteur et de sa famille
<b>PRD</b>	Le rendement
<b>PRF</b>	La rentabilité économique
<b>TIL</b>	Nombre de passages d'un tracteur agricole pour une saison

Comparaison binaire (critère 1 et critère 2): Quel est le critère le plus influant sur la durabilité de la plasticulture à Biskra (grille d'évaluation est de 1 à 9)?

Critère 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Critère 2
<b>BID</b>																		<b>CHI</b>
<b>BID</b>																		<b>EMP</b>
<b>BID</b>																		<b>HES</b>
<b>BID</b>																		<b>IRR</b>
<b>BID</b>																		<b>LIQ</b>
<b>BID</b>																		<b>PRD</b>
<b>BID</b>																		<b>PRF</b>
<b>BID</b>																		<b>TIL</b>
<b>CHI</b>																		<b>EMP</b>
<b>CHI</b>																		<b>HES</b>
<b>CHI</b>																		<b>IRR</b>
<b>CHI</b>																		<b>LIQ</b>
<b>CHI</b>																		<b>PRD</b>
<b>CHI</b>																		<b>PRF</b>
<b>CHI</b>																		<b>TIL</b>
<b>EMP</b>																		<b>HES</b>
<b>EMP</b>																		<b>IRR</b>
<b>EMP</b>																		<b>LIQ</b>
<b>EMP</b>																		<b>PRD</b>
<b>EMP</b>																		<b>PRF</b>
<b>EMP</b>																		<b>TIL</b>
<b>HES</b>																		<b>IRR</b>
<b>HES</b>																		<b>LIQ</b>
<b>HES</b>																		<b>PRD</b>
<b>HES</b>																		<b>PRF</b>
<b>HES</b>																		<b>TIL</b>
<b>IRR</b>																		<b>LIQ</b>
<b>IRR</b>																		<b>PRD</b>

<b>IRR</b>																		<b>PRF</b>
<b>IRR</b>																		<b>TIL</b>
<b>LIQ</b>																	<b>PRD</b>	
<b>LIQ</b>																	<b>PRF</b>	
<b>LIQ</b>																	<b>TIL</b>	
<b>PRD</b>																	<b>PRF</b>	
<b>PRD</b>																	<b>TIL</b>	
<b>PRF</b>																	<b>TIL</b>	

## Résumé

Le système de production de cultures protégées s'est considérablement développé dans le sud de l'Algérie. Cependant, la durabilité de ce système n'a pas encore été évaluée. Le but de cette étude est de proposer un cadre méthodologique pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de production maraichère sous serre dans la région de Biskra.

Dans ce sens, une enquête a été menée dans la Wilaya et neuf critères ont été sélectionnés en fonction des conditions locales. L'analyse hiérarchique multicritères indique la présence de quatre typologies des exploitations. Les résultats obtenus révèlent aussi que les agriculteurs et les spécialistes agricoles partagent la même vision sur l'importance des indicateurs économiques où la somme de leur poids est respectivement de 74% et 66%. La structure de serre idéale est la Canarienne. Ce travail pourrait aider les décideurs et les chercheurs à mettre en place une politique de développement durable.

**Mots clés :** évaluation de la durabilité, indicateurs, pratiques culturelles, Biskra.

## ملخص:

إن نظام إنتاج المحاصيل المحمية وقد نما إلى حد كبير في جنوب الجزائر. بيد أنه لم يتم بعد تقييم مدى استدامة هذا النظام. لذلك فإن الهدف من هذه الدراسة هو توفير إطار منهجي لتقييم استدامة نظام إنتاج الخضروات تحت البيوت البلاستيكية في منطقة بسكرة. في هذا الصدد، أجرينا دراسة استقصائية في الولاية وتم اختيار تسعة مؤشرات معايير اعتمادا على الظروف المحلية. يشير التحليل الهرمي المتعدد المعايير إلى وجود أربعة أنواع من المزارع بالإضافة إلى أن المزارعين والمختصين الزراعيين يشتركون في نفس الرؤية على أهمية المؤشرات الاقتصادية بنسبة 74% و 66% على التوالي. أظهرت النتائج أن هيكل البيت البلاستيكي الكناري هو الأكثر استدامة. هذا العمل يمكن أن تساعد واضعي السياسات والباحثين لتطوير سياسة التنمية المستدامة.

**الكلمات المفتاحية:** تقييم الاستدامة ، مؤشرات ، العمليات الفلاحية، بسكرة.

**Abstract:**

The protected crop production system has been considerably developed in southern Algeria. However, the sustainability of this system has not yet been assessed. The aim of this study is to propose a methodological framework for the evaluation of the sustainability of greenhouse production systems in the Biskra region.

In fact, a survey was conducted in the Biskra province and nine criteria were selected according to local conditions. The multi-criteria hierarchical analysis indicates the presence of four types of farms. The results also reveal that farmers and agricultural specialists share the same view of the importance of economic indicators, where their weight is 74% and 66% respectively. The ideal greenhouse structure is the Canarian. This work could help decision-makers and researchers to put in place a sustainable development policy.

**Key words:** sustainability assessment, indicators, agricultural practices, Biskra.