

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة خميس مليانة
Université Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de: Biologie.



Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ressources en Sol, Eau et Environnement
Spécialité: Eau et Bioclimatologie

*Impact du changement climatique sur le rendement du blé
dur dans la wilaya d'Ain Defla*

Présenté par :

M^r : Ykhlef Chaouch Abdelghani

Soutenu le: 14/10/2015, Devant le jury composé de :

Présidente : M^{me} Benaouda L (MAA).

Promotrice : M^{me} Mestfaoui H (MAA).

Examinatrice : M^{me} Zekouda N (MAA).

Examinatrice : M^{me} Bouaichi I (MAA).

Année universitaire: 2014/2015

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier « Allah », notre créateur pour m'avoir donné de la force, la volonté et la patience dans l'accomplissement de ce travail.

Je remercie vivement ma promotrice : M^{me} Mestfaoui Hassiba pour avoir m'accepté de m'encadrer et de me diriger pour son aide, sa compréhension et ses conseils.

Mes vives gratitude s'adressent à M^{me} Benaouda L, qui a bien voulu présider mes jurys.

Mes remerciements vont encore aux membres de jury : M^{me} Zekouda N et M^{me} Bouaichi I qu'ont bien voulu m'honorer en acceptant de juger ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres de l'ITGC de Khemis Miliana, ANRH de Khemis Miliana, et la direction des services agricole de la wilaya d'Ain-Defla.

Enfin, merci à tous ceux qui me contribué de près où de loin à la réalisation de ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans mes pensées.

Merci

Dédicaces

A mes très chères parents

A tous mes chères frères et et la petite « Lobna »

*A ma grande sœur et son marie « Ryadh »
et sa petite « malak »*

A tous mes Amies et tous ceux qui me sont chers.

*A tous mes amis de « Eau et Bioclimatologie »
promotion 2015.*

Abdelghani

Résumé

Les scénarios du changement climatique à l'échelle globale annoncent une augmentation de la température moyenne, une diminution des pluies estivales en basses et moyennes latitudes et une augmentation de la demande en eau autour des tropiques. Dans de telles conditions, quels seront les impacts potentiels de ces changements sur la culture du blé dur, et notamment dans la région d'Ain defla ? Région connue pour son climat semi-aride.

Pour cela, nous avons utilisé les sorties d'un modèle GCM comme données d'entrées dans le modèle de simulation de développement des cultures STICS, qui est conçu comme un outil de simulation opérationnel en conditions agricoles. C'est un modèle générique dont l'objectif principal est de simuler les effets liés au climat, au sol et à la plante, sur la production et sur l'environnement, afin d'évaluer l'impact du changement climatique sur le rendement de blé dur.

Les résultats de la simulation de l'impact des projections des changements climatiques, par le modèle STICS, à l'horizon de 2090 estime un effet positif sur le rendement de blé dur dans la wilaya d'Ain Defla. Cette estimation pourrait atteindre une augmentation de moyenne de 43 % pour le scénario A2, alors que celui du scénario B2 serait autour de 39,5% en moyenne par rapport à l'état actuel.

Mots Clés : changement climatique, STICS, scénarios, simulation, le rendement de blé dur.

الملخص

تعلن سيناريوهات تغير المناخ على نطاق عالمي عن زيادة في متوسط درجة الحرارة، وانخفاض في سقوط الامطار الصيفية في خطوط العرض المنخفضة والمتوسطة وزيادة في الطلب على المياه في جميع أنحاء المناطق المدارية. في ظل هذه الظروف، ما هي الآثار المحتملة لهذه التغيرات على زراعة القمح الصلب ولا سيما في منطقة عين الدفلى؟ المنطقة المعروفة بمناخها شبه الجاف.

لهذا، استخدمنا مخارج نموذج GCM وأدخلناها كبيانات في نموذج محاكاة نمو المحاصيل الزراعية STICS، والذي تم تصميمه كأداة محاكاة عملية في الظروف الزراعية. و هو نموذج عام هدفه الرئيسي هو محاكاة تأثيرات المناخ والتربة والنبات، على الإنتاج وعلى البيئة، لتقييم تأثير تغير المناخ على مردود القمح الصلب.

نتائج محاكاة تأثير توقعات تغير المناخ، بواسطة النموذج STICS، في أفق 2090 تتوقع أثر إيجابي على إنتاجية القمح الصلب في ولاية عين الدفلى. هذا التقدير قد يصل في المتوسط إلى زيادة بنسبة 43% في السيناريو A2، في حين أن هذا الأثر في السيناريو B2 سيكون حوالي 39,5% في المتوسط بالمقارنة مع الوضع الحالي.

الكلمات المفتاح: تغير المناخ، السيناريوهات، المحاكاة، مردود القمح الصلب، STICS.

Abstract

Scenarios of climate change on a global scale announce an increase in the average temperature, a decrease in summer rainfall in low and middle latitudes and an increase in demand for water around the tropics. Under such conditions, what are the potential impacts of these changes on the cultivation of durum wheat, in particular in the region of Ain defla? Region known for its semi-arid climate.

For this, we used the GCM outputs of a model as input data in the development of simulation model STICS crop, which is designed as an operational simulation tool in agricultural conditions. It is a generic model whose main objective is to simulate the effects of climate, soil and the plant, on production and on the environment, to assess the impact of climate change on the performance of durum wheat.

The results of the simulation of the impact of climate change projections, the STICS model, on the horizon of 2090 estimated a positive effect on the yield of durum wheat in the wilaya of Ain Defla. This estimate could reach an average of 43% increase for the A2 scenario, while the B2 scenario would be around 39,5% on average compared to the current status.

Keywords: climate change, STICS, scenarios, simulation, durum yield.

Table des matières

Remerciement

Résumé

Liste des abréviations.....	I
Liste des annexes	II
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Changement climatique et l'agriculture

1. Problématique des changements climatiques	4
1.1. Définition du changement climatique	4
1.2. L'ampleur des changements climatiques	4
1.2.1. Dans le monde	5
1.2.2. Dans l'Algérie	5
2. Les gaz à effet de serre	5
3. Modèles de circulation générale (GCM)	6
3.1. Généralités sur des modèles de circulation générale	6
3.2. Les différents types de GCM disponibles	7
3.2.1. AGCM (Atmospheric Global Circulation Model)	7
3.2.2. AGCM Slab (couplé à une couche océanique)	7
3.2.3. OGCM (Oceanic Global Circulation Model).....	7
3.2.4. AOGCM (Atmospheric-Oceanic coupled Global Circulation Model).....	8
4. Les scénarios du changement climatique.....	8
4.1. Exposition des scénarios	8
4.1.1. Scénarios IS92.....	8
4.1.2. Les scénarios RSSE.....	8
5. Le changement climatique et l'agriculture	9
5. 1. Effet de l'augmentation de la concentration du CO ₂	9
5. 2. Effet de l'augmentation de la température	10
5.2. Le changement climatique et l'agriculture dans l'Algérie	10
5.3. Le changement climatique et les céréalicultures	10

CHAPITRE II : Présentation du modèle STICS

1. Aperçu sur les modèles de simulation de culture	12
2. Présentation du modèle STICS.....	12
2.1. Organisation en modules et optionalité	13
2.2. Modules et formalismes du STICS.....	14
2.2.1. Développement.....	14
2.2.2. Croissance aérienne.....	14
2.2.3. Elaboration du rendement.....	14
2.2.4. Croissance racinaire.....	15
2.2.5. Fonctionnement hydrique.....	15
2.2.6. Fonctionnement azoté.....	15
3. Intérêt et limites du modèle STICS.....	15
3.1. Intérêt.....	15
3.2. Les limites.....	15

Chapitre III : Aperçu général sur le blé dur

1. Importance des céréales.....	18
1.1. Situation des céréalicultures.....	18
1.1.1. Dans le monde.....	18
1.1.2. Dans l'Algérie.....	18
2. Etude de la culture du blé.....	19
2.1. Origine et historique du blé.....	19
2.2. Cycle de développement de blé.....	19
2.2.1. Période végétative.....	20
2.2.1.1. Phase de germination levée.....	20
2.2.1.2. Phase levée-tallage.....	20
2.2.1.3. Phase tallage-montaison.....	20
2.2.2. Période reproductrice.....	20
2.2.2.1. Phase montaison-gonflement.....	20
2.2.2.2. Phase d'épiaison-floraison.....	20
2.2.2.3. Phase floraison-fécondation.....	20
2.2.3. Période de maturation.....	21
3. Exigences du blé dur.....	22
3.1. Climatique.....	22

3.1.1. Eau.....	22
3.1.2. Température.....	22
3.1.3. Lumière.....	22
3.2. Exigences édaphique.....	23
3.2.1. Sol.....	23
3.2.2. Les éléments fertilisants.....	23
3.3. Technique culturale.....	23
3.3.1. Rotation.....	23
3.3.2. Préparation du sol.....	23
3.3.2.1. Le déchaumage.....	24
3.3.2.2. Labour et travail superficiel.....	24
3.3.2.3. Les semis.....	24
3.3.3. La fertilisation.....	24
3.3.4. Le désherbage.....	24
3.3.5. La récolte.....	24

Chapitre IV - Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique.....	26
2. Topographie.....	26
3. Hydrologie.....	27
4. Le sol.....	27
4.1. Analyse physique des sols.....	27
4.2. Analyse chimique des sols.....	28
5. L'agriculture dans la wilaya d'Ain Defla.....	28
5.1. Les céréalicultures dans la wilaya d'Ain Defla.....	29
5.2. Blé dur dans la wilaya d'Ain Defla.....	30
6. Climat.....	31
6.1. Précipitations.....	32
6.1.1. La répartition annuelle des précipitations.....	32
6.1.2. La répartition mensuelles des précipitations.....	32
6.2. Température.....	33
6.2.1. Température moyenne annuelle.....	33
6.2.2. Les températures moyennes mensuelles.....	34
6.3. Le diagramme Ombrothermique.....	35

6.4. Climagramme d'Emberger.....	35
5. Humidité.....	36
6. Vent.....	37
7. Insolation.....	37

Chapitre V : Méthodologie et formalismes

1. Méthodologie d'analyses d'impacts du changement climatique.....	39
1.1. Utilisation des scénarios du changement climatique dans le STICS.....	39
1.2. Génération stochastique des scénarios climatiques.....	39
1.2.1. Généralité sur LARS-WG	39
1.2.2. Méthode d'application des données de GCM dans l'étude d'impact.....	40
1.2.3. Séries de données appliquées dans cette étude.....	41
2. Paramétrage et validation du modèle de culture STICS.....	41
2.1. Les options et les formalismes choisis.....	41
2.2. L'environnement du STICS.....	42
2.2.1. Notion d'USM.....	44
2.2. 2. Le matériel végétal.....	44
2.3. Les variables de forçage.....	44
2.3.1. Forçages climatiques	44
2.3.2. Paramètres liés au sol	44
2.3.3. Paramètres liés à la plante	45
2.3.4. Itinéraires techniques.....	45
2.4. Les fichiers de sorties	46
2.4.1. Les fichiers de bilan de simulation.....	46
2.4.2. Les fichiers dynamiques.....	46
2.4.3. Le fichier profil. <i>sti</i>	46
2.4.4. Le fichier historique. <i>sti</i>	47

Chapitre VI : Résultats et discussion

I. Résultats	49
1.1. Variations du rendement simulé selon les périodes de scénario A2.....	49
1.2. Variation du rendement simulé selon les périodes de scénario B2.....	49

1.3. Comparaison entre le rendement des différents scénarios.....	50
1.4. Comparaison entre le rendement simulé et observé dans les différentes périodes des scénarios A2 et B2.....	51
1.4.1. La comparaison pour la première période (2021-2030).....	52
1.4.2. La comparaison de la deuxième période (2041-2050).....	52
1.4.3. La comparaison de la troisième et la quatrième période (2061-2070) et (2081-2090).....	53
II. Discussion des résultats.....	55

Conclusion et perspectives

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Descriptif du changement climatique par l'IPCC.....	4
Figure 2 : Sources des émissions de gaz à effet de serre.	6
Figure 3 : Schéma représentatif des différentes familles des scénarios SREE.....	9
Figure 4 : Organisation de STICS et ces modules.	13
Figure 5 : Evolution de production de principales céréales en Algérie.....	19
Figure 6 : Les stades de développement du blé.....	21
Figure 7 : situation géographique et limites de la wilaya d'Ain defla.....	26
Figure 8 : Les superficies agricoles dans Ain Defla.....	29
Figure 9 : Occupation de la superficie agricole dans Ain Defla (De 1995 à 2014).	29
Figure 10 : Evolution de la production céréalière dans la wilaya d'Ain Defla.....	30
Figure 11 : Contribution de blé dur en production céréalière dans Ain Defla.....	31
Figure 12 : Evolution de rendement de blé dur dans la wilaya d'Ain Defla.....	31
Figure 13 : Evolution des Précipitations Moyennes Annuelles (1985-2014).....	32
Figure 14 : variation de précipitation moyenne mensuelle dans Ain Defla.....	33
Figure 15 : Evolution de la température moyenne annuelle dans Ain Defla 2002-2014.....	33
Figure 16 : Variation des températures mensuelles 2002-2014 dans Ain Defla.....	34
Figure 17 : le diagramme ombrothermique de la wilaya d'Ain Defla.....	35
Figure 18 : Localisation d'Ain Defla sur le climagramme d'Emberger.....	36
Figure 19 : Schéma qui décrit la méthode des anomalies appliquées dans un générateur climatique LARS-WG.	40
Figure 20 : L'environnement de STICS.....	43
Figure 21 : Variations du rendement simulé selon les périodes du scénario A2.....	49
Figure 22 : Variations du rendement simulé selon les périodes de scénario B2.....	50
Figure 23 : Comparaison entre le rendement simulé des deux scénarios A2 et B2.....	51
Figure 24 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la première période (2021-2030).....	52
Figure 25 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la deuxième période (2041-2050).....	53
Figure 26 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la troisième période (2061-2070).....	53
Figure 27 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la quatrième période (2081-2090).....	54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Stades de développement considérés par STICS.....	14
Tableau 2 : Analyse physique des sols.....	27
Tableau 3 : Analyse chimique du sol.....	28
Tableau 4 : Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative enregistrées dans Ain Defla 2002-2014.....	36
Tableau 5 : Relevés des vitesses de vents moyennes mensuelles dans Ain Defla.....	37
Tableau 6 : Durée d'insolation mensuelle moyenne dans Ain Defla.....	37
Tableau 7 : Les données météorologiques issues du modèle de circulation générale (GCM) ARPEGE-Climat.....	56

Liste des abréviations

- STICS** : Simulateur multIdisciplinaire pour des Cultures Standards.
- FAO**: Food and Alimentation Organization.
- GIEC**: *Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.*
- RSSE** : le Rapport Spécial Sur les Scénarios d'Emissions.
- IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change.
- OAIC** : L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.
- CCLS** : la Coopération des Céréales et des Légumes Secs.
- Ha** : Hectare.
- Mm** : Millimètre.
- M** : Mètre.
- Cm²** : Centimètre carré.
- Cm** : Centimètre.
- %** : Pour cent.
- C°** : Degré Celsius.
- DSA** : Direction des Services Agricole.
- Qx** : Quintaux.
- Qx/ha** : Quintal par hectare.
- ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures.
- SAU** : Superficie Agricole Utile.
- GES** : Gaz à Effet de Serre.
- ANRH** : Agence National des Ressources Hydriques.
- USDA**: United Stats Departement of Agriculture.
- INRA** : Institut national de la recherche agronomique.
- CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- Min** : Minimum.
- Max** : Maximum.
- Moy** : Moyenne.
- GCM** : General Circulation Mouvement.
- Km** : Kilomètre
- Km²** : Kilomètre carré.
- Hm³** : Hectomètre cube.
- L/S** : Litre par seconde.

A : Argileux.

L.F : Limon fin.

L.G : Limon grossier.

S.F : Sable fin.

S.G : Sable grossier.

L.A : Limono argileux

CE : Conductivité électrique.

MO : Matière Organique.

µm/m : Micromètre par mètre.

Mmhos/cm : Millimhos par centimètre.

T : Température.

H : Humidité.

P : Précipitation.

Km/h : Kilomètre par heure.

E-NE : Est-Nord Est.

N-NW : Nord-Nord West.

H/j : Heure par jour.

°K : Kelvin.

Q₂ : Quotient pluviométrique d'Emberger.

SAT : Superficie agricole totale.

LARS-GW: Long Ashton Research Station- Weather Generator.

Rdt : Rendement.

Obs : Observé.

Siml : Simulé.

LEV : Levée ou débourrement végétatif.

PLT : Plantation ou semis (annuelles).

DEBDORM et FINDORM : Entrée et levée de dormance (ligneux).

FLO : Floraison (début sensibilité au gel des fruits).

AMF : Accélération maximale de Croissance Foliaire, fin de phase juvénile.

DRP : Début remplissage des organes récoltés.

LAX : Indice foliaire maxi, fin de croissance foliaire nette ou brute selon l'option.

NOU : Fin de la nouaison (option indéterminée).

SEN : Début sénescence nette (option LAInet).

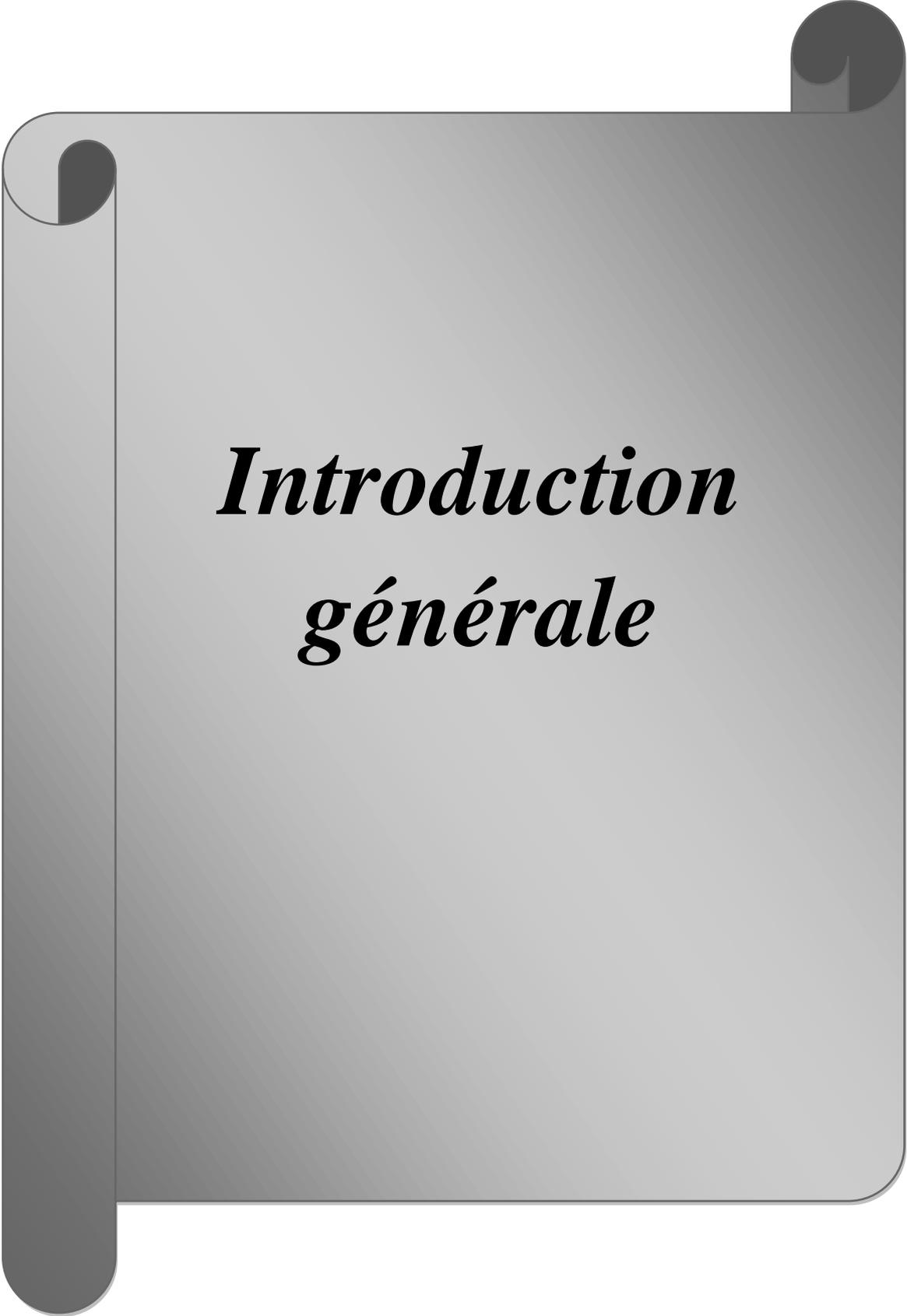
DEBDES : Début dynamique hydrique des fruits.

LAN : Indice foliaire nul (option LAInet).

MAT : Maturité physiologique.

REC : Récolte.

USM : Une unité de simulation.



***Introduction
générale***

Introduction générale

Introduction générale

Les modèles de circulation générale (MCG) centrés sur la zone méditerranéenne estiment un réchauffement de 2 à 4°C durant le 21ème siècle et une perturbation probable des régimes pluviométriques (Nathalie R, 2004). Le changement climatique apparaît être une question essentielle pour le secteur agricole ce qui permet de conduire des études d'impact, en particulier dans la zone semi-aride (Kara, 2008).

En Algérie, les cultures céréalières sont les très importantes du point de vue agronomique, socio-économique et culturel. En effet les céréales occupent la plus grande superficie agricole cultivée et représentent le premier aliment de base de la population algérienne (Bouzerzour et Oudina, 1989)., Aussi la grande partie des terres agricoles se situent dans les régions semi-arides est occupée par les céréales (7.6 million d'hectares de SAU), les céréales d'hiver occupent annuellement 03 à 3.5 millions d'hectares (Benmohamed, 1998)., dont le blé dur y occupe une superficie importante : un million d'hectares environ (Rachdi, 2003)., où la production se caractérise par une grande variation et les rendements à l'hectare demeurent faibles.

Les modèles de cultures, qui se sont développés depuis une trentaine d'années, offrent un cadre conceptuel pour étudier les interactions dynamiques entre la plante, le sol, le climat et les techniques culturales à l'échelle parcellaire. Cependant l'essentiel des efforts de modélisation a porté sur les grandes cultures (Brisson *et al.*, 1998a et 2003). Ainsi le modèle STICS (Simulateur de multidisciplinaire pour les Cultures Standard), développé à l'INRA depuis 1996, décrit un grand nombre de processus éco physiologiques et agronomiques, représentatifs du fonctionnement de la plupart des espèces cultivées, en grande partie annuelles.

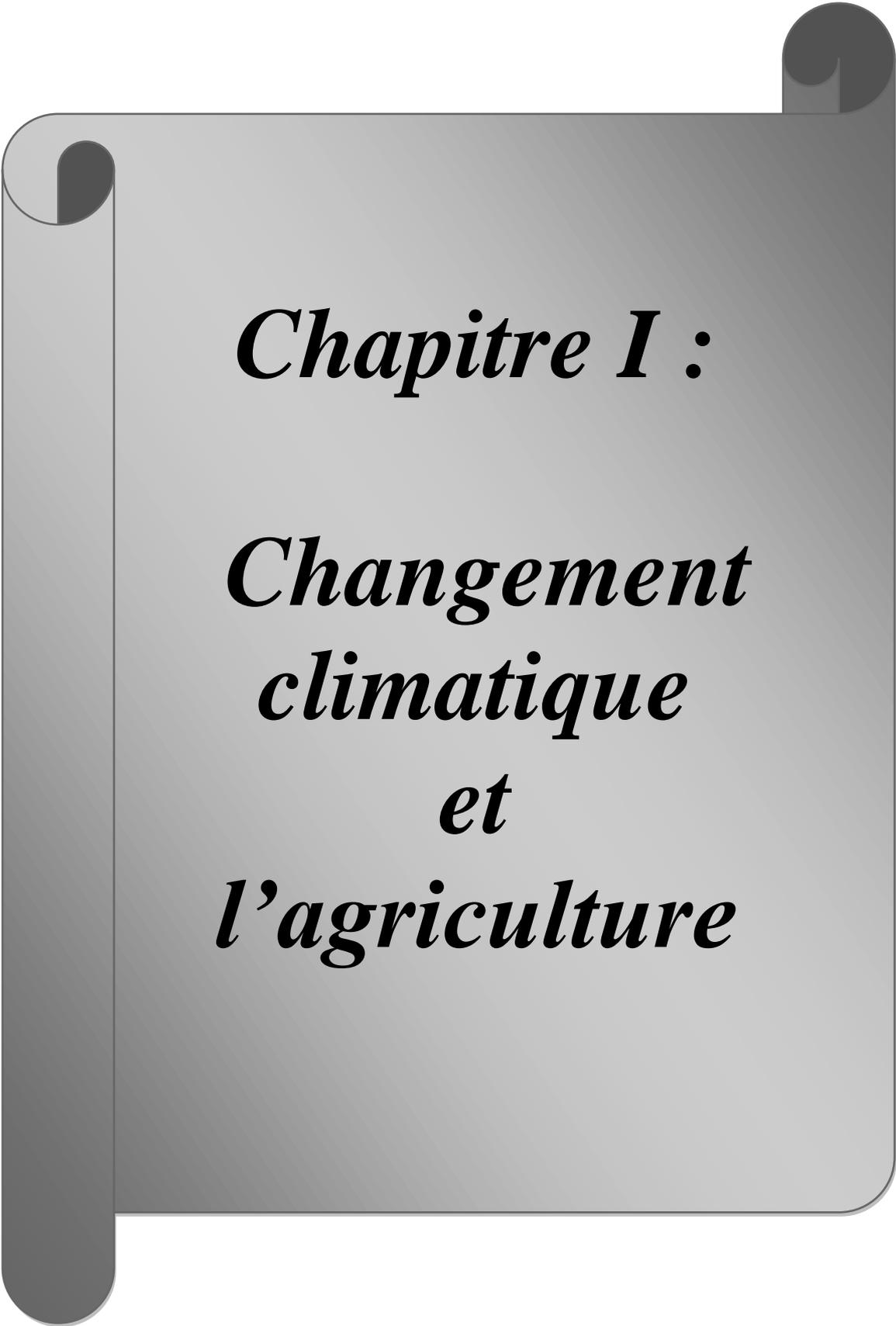
L'élaboration d'un tel outil, permettait non seulement d'approfondir notre compréhension du fonctionnement de ces systèmes complexes, mais également d'étudier ce fonctionnement dans le cadre d'un changement global. Sachant que les perspectives d'évolution du climat, en relation avec l'émission de gaz à effet de serre d'origine anthropique, auront des conséquences probables sur les productions agricoles (IPCC, 2001), le modèle de culture adapté à la culture du blé devient un outil privilégié pour l'étude de ces impacts.

L'objectif de cette étude est de valider un modèle de prévision des rendements du blé variété chen's (variété à large distribution, 65% en année 2012/2013.d'après ITGC ,Algérie) Ce modèle est ensuite utilisé pour évaluer les effets de choix techniques tels que la date de

Introduction générale

semis, la dose de semis, le choix du type de sol, ...etc. sur les rendements du blé dur d'une part, et de l'utilisation de ce modèle STICS pour analyser les impacts du changement climatique sur cette culture à l'échelle de la région d'étude d'autre part, ainsi que de fournir au décideur un outil d'alerte pour une prise de décision en cas des changements climatiques.

Ce mémoire de master s'articulera autour de trois parties. Dans la première partie on dressera une synthèse bibliographique dans laquelle on s'intéresse au changement climatique et l'agriculture dans le 1^{er} chapitre, à la présentation du modèle STICS dans le 2^{ème} chapitre, et à l'étude de la culture de blé dur dans le 3^{ème} chapitre. Dans la deuxième partie, on présente la région d'étude, les modèles utilisés, les données et les variables utilisées, et la méthodologie avec laquelle ont été traitées les données dont on dispose. La troisième partie s'intéressera à l'interprétation des résultats et discussions.



Chapitre I :

*Changement
climatique
et
l'agriculture*

Chapitre I : Changement climatique et l'agriculture**1. Problématique des changements climatiques****1.1. Définition du changement climatique**

Selon la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le changement climatique est un changement du climat attribué directement ou indirectement à toute activité humaine qui modifie la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoute à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes de temps comparables.

D'après le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), le terme "changement climatique" se réfère à tout changement du climat, qu'il soit d'origine naturelle ou dû aux activités humaines (GIEC, 2001). (Figure 1)

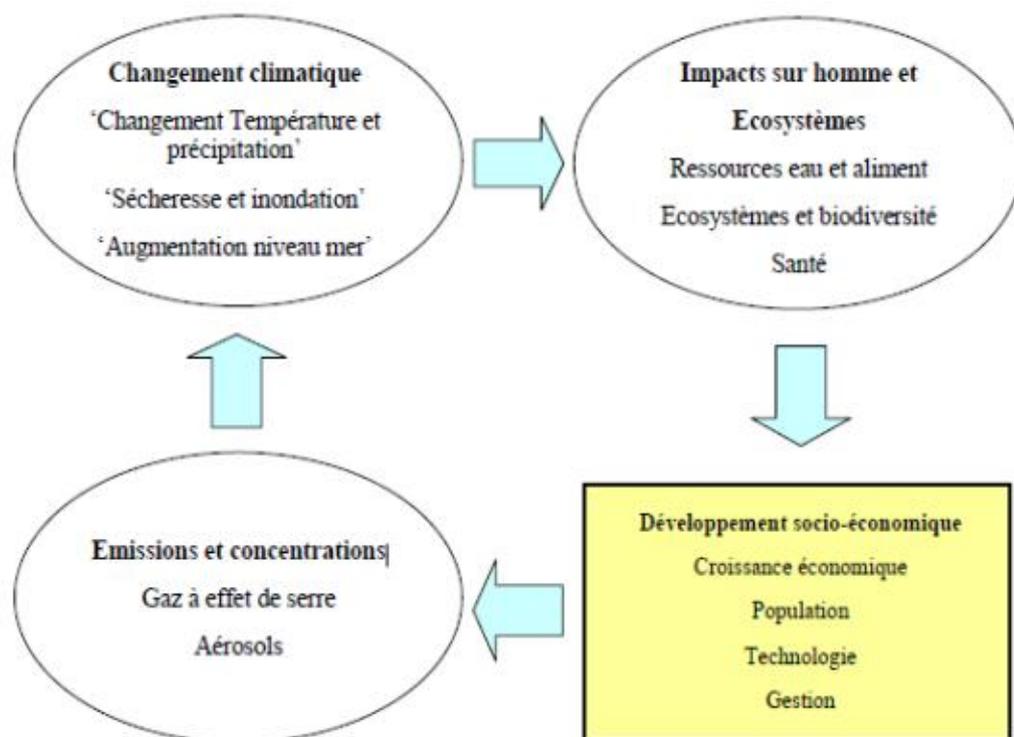


Figure 1: Descriptif du changement climatique par l'IPCC (IPCC, 2007)

1.2. L'ampleur des changements climatiques

Durant les trente dernières années, un changement climatique a été constaté au niveau planétaire. Ce changement s'est traduit par une augmentation de la température moyenne,

une plus forte variabilité de la pluviométrie et une augmentation de l'occurrence de conditions extrêmes telles que les inondations, les sécheresses, les cyclones, les tsunamis...etc (GIEC, 2007).

1.2.1. Dans le monde

À l'échelle globale, les statistiques montrent qu'au cours du 20^{ème} siècle, la terre s'est réchauffée de 0,76°C (Aoul, 2007). Selon les prévisions, le changement climatique s'accélénera encore à l'avenir, en fonction des émissions de gaz à effet de serre, il faut s'attendre à une poursuite de la hausse des températures de 0,8 – 2,4 °C d'ici 2050, et de 1,4 – 5,8°C d'ici la fin du XXI^{ème} siècle, par rapport à 1990 (Klaus, 2007).

1.2.2. Dans l'Algérie

Vu la spécificité aride et semi-aride de son climat, l'Algérie caractérisée par une grande diversité d'écosystèmes, ressentira davantage les effets des changements climatiques : le dérèglement actuel du cycle « évaporation-pluie » conduit à envisager des événements extrêmes telles que les sécheresses prolongées ou les inondations catastrophiques, ce qui constitue une réelle menace sur l'ensemble de ses écosystèmes et de ses ressources naturelles (Yahyaoui, 2008).

Les projections à l'horizon 2020 et 2050 indiquent que les températures continueront à croître et pourraient augmenter de 3°C (Abdelguerfi et Ramdane, 2003). Ainsi, qu'une fluctuation de la pluviométrie avec une tendance à la baisse, de l'ordre de 5 à 10 % sur le court terme. Par contre sur le long terme, on peut envisager une diminution de la pluviométrie qui varie entre 10 à 30% d'ici 2050 (Philippe, 2007).

2. Les gaz à effet de serre

L'effet de serre produit par certains gaz atmosphériques (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, ozone, méthane, oxydes nitreux, ainsi que les ChloroFluoroCarbures (CFCs) (Le Treut, 1999). C'est un phénomène naturel d'absorption du rayonnement infrarouge émis par la terre, partiellement réémis vers le sol (Kara, 2008). Ces gaz, lorsqu'ils sont en quantité modérée, participent au maintien d'une température moyenne au sol à 15 C° au lieu de -18 C° (Raunet, 2005). Ce phénomène prend de l'ampleur du fait des activités humaines, en particulier de la combustion des produits carbonés fossiles (figure 2), les transports, les industries manufacturières et énergétiques, l'agriculture, le secteur résidentiel et tertiaire (Baubion, 2004). Il semble y avoir aujourd'hui un consensus sur le fait que l'on assiste à une augmentation continue en teneur de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier du

dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane (CH₄), dont l'accroissement annuel moyen fluctuerait entre 0,5% et 1% par an (Levet, 2006).

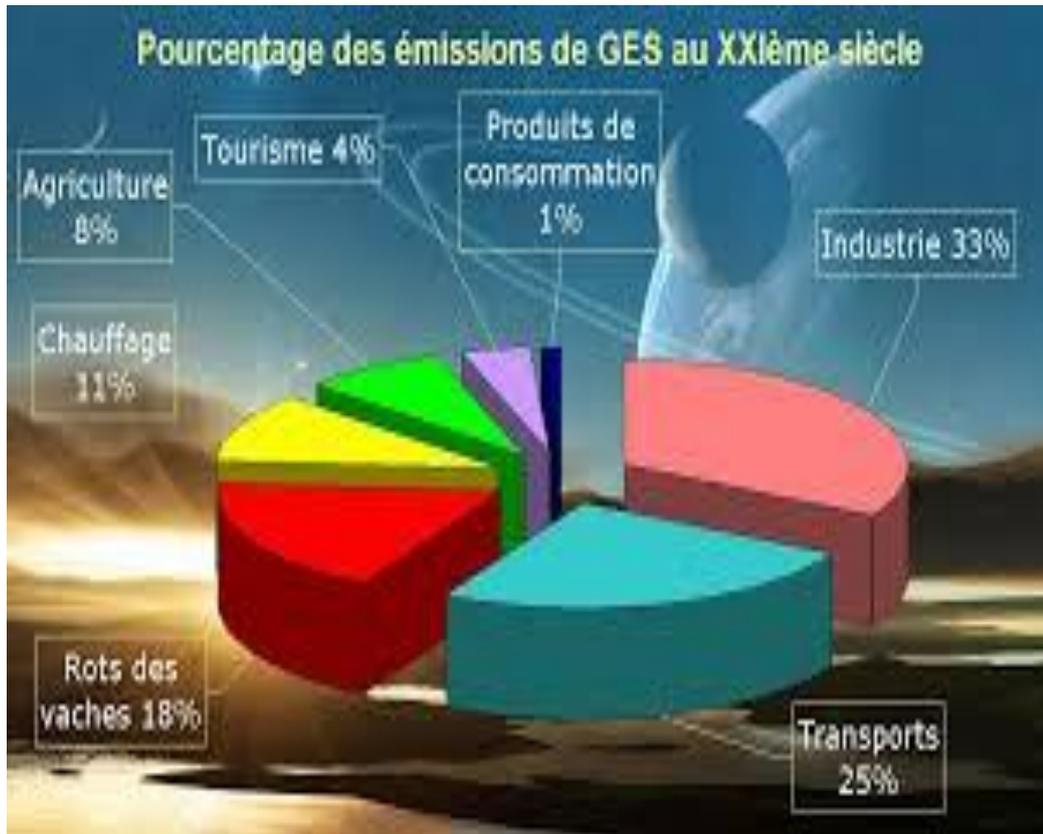


Figure 2 : Sources d'émission de gaz à effet de serre (GIEC, 2014)

3. Modèles de circulation générale (GCM)

3.1. Généralités sur des modèles de circulation générale

La prévision des changements climatiques est un enjeu majeur de ce siècle. Cependant, les climats sont des phénomènes complexes, déterminés par un très grand nombre de facteurs (Denoux *et al.*, 2003). Cette complexité rend nécessaire l'exploitation de nombreux modèles numériques appelés « Modèles de Circulation Générale » ou GCMs qui stimulent de façon mathématique les interactions Terre-Atmosphère, comme ils déterminent l'ensemble du climat terrestre (Enright, 2001).

En pratique les GCM ressoudent explicitement les équations primitives de la mécanique et de la thermodynamique des fluides géophysiques dans les 3 dimensions spatiales et dans le temps. Les GCM simulent aussi le transfert du rayonnement et les sources et les puits d'énergie qui en résultent dans le milieu (Morcrette, 1994).

3.2. Les différents types de GCM disponibles

Tous les MCG existants (il existe plusieurs dizaines de part dans le monde) ont donc la même fonction: simuler aussi exactement que possible l'atmosphère ou l'océan. Selon leur degré de perfectionnement, de complexité, et le compartiment qu'ils modélisent, les quatre types majeurs des GCM sont les suivants :

3.2.1. AGCM (Atmospheric Global Circulation Model)

Ce modèle est une représentation tridimensionnelle de l'atmosphère similaire à ceux utilisés en météorologie, mais produisant des prévisions sur des dizaines d'années ou des siècles, ce qui implique donc moins de précision (pour des raisons de temps de calcul). Ce modèle nécessite des données sur les températures à la surface des océans, sur l'étendue des glaces et les échanges avec la surface terrestre et la biosphère, c'est pourquoi il est souvent couplé, au minimum, à un modèle de la surface terrestre et de la cryosphère (glaces). Ce modèle ne peut pas être utilisé seul pour prédire des variations climatiques, car il n'indique pas comment les conditions climatiques évoluent au-dessus des océans.

3.2.2. AGCM Slab (couplé à une couche océanique)

Ce type de modèle est identique au précédent, mais avec un compartiment "océan" idéalisé à une enveloppe d'eau de profondeur constante (généralement 50 m), les transferts de chaleur au sein de cette enveloppe étant constamment modifiés selon les variations climatiques. Un tel modèle est très utile pour simuler les conditions climatiques en fonction de niveaux fixes en CO₂, mais il ne peut être appliqué pour prédire des changements climatiques car cela est largement déterminé par des processus océaniques profonds (non pris en compte ici).

3.2.3. OGCM (Oceanic Global Circulation Model)

Ce modèle de circulation océanique générale est la copie de l'AGCM, mais appliqué aux océans. Il est très souvent couplé à un modèle de cryosphère. Il est utilisé dans l'étude de la circulation océanique, de ses processus internes et ses variations (température, salinité, chimie,...). Il doit cependant être alimenté par des données de température de l'air à la surface, ainsi que d'autres propriétés atmosphériques (taux de CO₂,...).

3.2.4. AOGCM (Atmospheric-Oceanic coupled Global Circulation Model)

Depuis les années 1990, les supercalculateurs ont permis de fusionner des AGCM avec des OGCM, afin d'obtenir des modèles plus performants. Ceux-ci prennent en compte les interactions complexes entre les océans, l'atmosphère et les terres.

4. Les scénarios du changement climatique

L'existence de changements climatiques liés aux activités humaines, partant le GIEC a créé un certain nombre de scénarios d'émission. Ils ont pour objet d'obtenir une représentation simple mais possible du monde futur sur différents aspects (Deniaux, 2000). Ils sont fondés sur des hypothèses d'évolution des "forces motrices" déterminant les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ils fournissent également les émissions futures de ces gaz. Ils servent ensuite d'entrée à des modèles et permettent ainsi d'obtenir des projections liées aux émissions de GES dans différents domaines et en particulier au niveau climatique (Lepage *et al.*, 2011).

4.1. Exposition des scénarios

4.1.1. Scénarios IS92

Les scénarios IS92 ont été initialement décrits dans GIEC (1992). Six scénarios de l'avenir de gaz à effet de serre et les émissions de précurseurs d'aérosols (IS92a-f) ont été développées, fondées sur des hypothèses concernant la population et la croissance économique, l'utilisation des terres, les changements technologiques, la disponibilité de l'énergie, et le mélange de carburant au cours de la période de 1990 à 2100 (Polcher, 2005).

4.1.2. Les scénarios RSSE

Le rapport spécial sur les scénarios d'émissions (RSSE) sort en 2000, ces nouveaux scénarios qu'il présente sont liés à des données économiques plus récentes ainsi qu'une meilleure appréciation des évolutions technologiques, économiques et démographiques. Tous ces scénarios ont été également repris dans les rapports des différents groupes de travail du GIEC de 2001 et de 2007 (IPCC, 2007). Ces rapports précisent, entre autres, les utilisations possibles des scénarios d'émission dans l'obtention des projections climatiques futures ainsi que dans l'évaluation des impacts de ces changements climatiques (Enright, 2001). Les six groupes de scénarios tels que les trois familles de scénarios A2, B1 et B2 plus trois groupes

dans la famille A1 : A1B, A1FI et A1T sont présentées dans la figure ci-dessous.

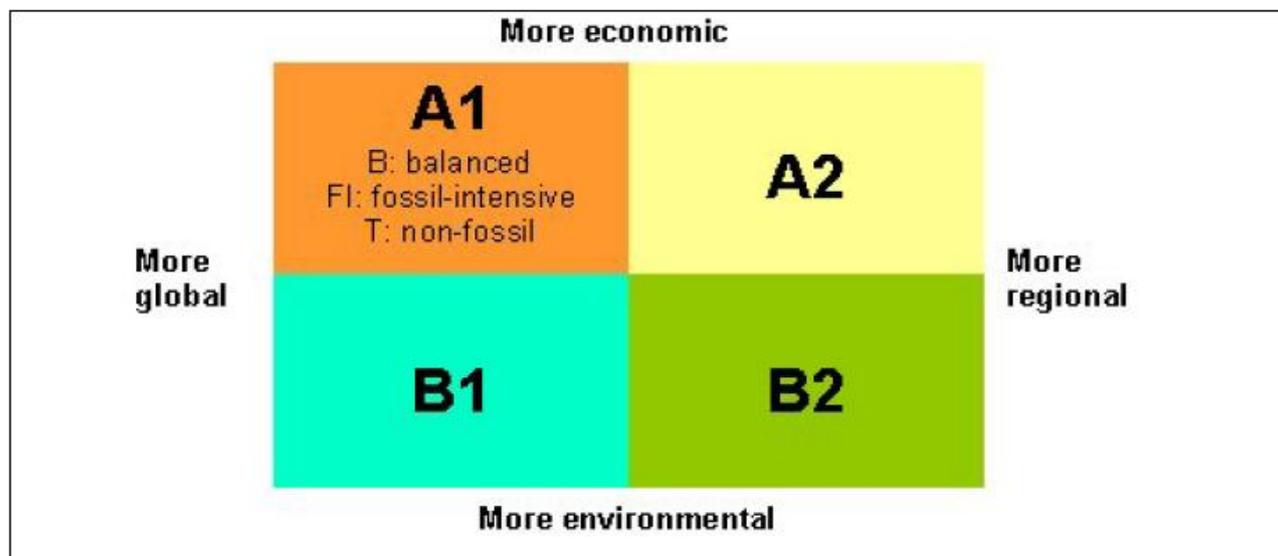


Figure 3 : Schéma représentatif des différentes familles des scénarios SREE (GIEC ,2001)

5. Le changement climatique et l'agriculture

L'évolution du climat projeté pour les prochaines décennies aura un impact, très variable selon les régions, sur la production agricole des processus physiologiques à la phénologie et même de la répartition géographique des cultures (belbachir-Bazi, 2008). Les modes de gestion des agro-systèmes sont donc déterminants tant pour des questions d'adaptation au nouveau contexte climatique que d'atténuation du changement climatique (Seguin, 2007).

5. 1. Effet de l'augmentation de la concentration du CO₂

Avec l'hypothèse d'un doublement de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère pour la fin du 21^{me} siècle (IPCC, 2007), cette hausse aura un effet bénéfique sur le couvert végétal en favorisant l'activité photosynthétique des plantes (DaMatta *et al.*, 2009). D'après Seguin (2007), les résultats montrent une simulation de la photosynthèse de l'ordre de 20% à 30% conduisant à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 10% à 20% en fonction du type de métabolisme photosynthétique. Bien que cette augmentation de la concentration du CO₂ sera combinée à d'autres facteurs comme la conductance stomatique (avec une réduction moyenne de 20% pour un doublement de la concentration actuelle de CO₂ (IPCC, 2007)., et la limitation de la transpiration qui conduit à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Cette combinaison conduira à une augmentation significative de la production potentielle de la biomasse (Cornic, 2007).

5. 2. Effet de l'augmentation de la température

L'augmentation de la température aura des effets différents en fonction de leur interaction avec d'autres paramètres climatiques (concentration du CO₂, pluies) aussi bien en fonction de l'espèce. En effet, les températures élevées peuvent perturber les capacités photosynthétiques de la plante. Si l'optimum thermique pour la photosynthèse est atteint, la fertilité des épis pour certaines cultures décroît fortement, par exemple pour le riz, au-delà de 34°C, pour le maïs la variabilité de pollen baisse au 36°C (Seguin et Stengel, 2004). Dans certaines conditions, l'augmentation de la température peut favoriser la plupart des processus physiologique, mais cet effet sera accompagné par des impacts négatifs sur les cultures en accélérant leur rythme de développement et donc raccourcissement de leur durée de fonctionnement (Delecolle *et al.*, 2000).

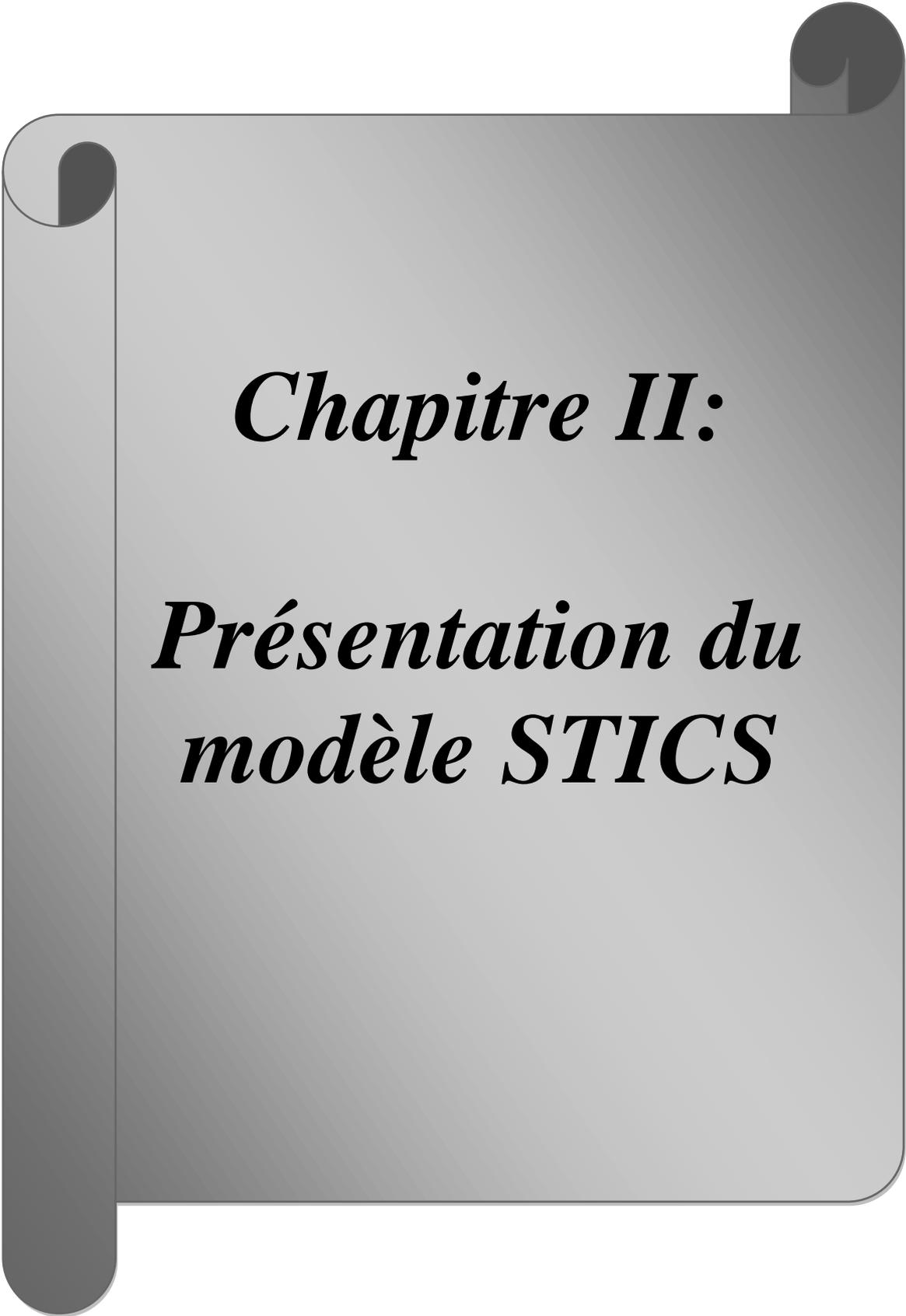
5.2. Le changement climatique et l'agriculture en l'Algérie

Le secteur agricole en Algérie vie une situation vulnérable lié au changement climatique qui a un impact direct sur la dégradation du sol et des ressources hydriques (Lakhdari, 2009).

Suite à des perturbations climatiques, on peut envisager dans le futur des conséquences néfastes sur le développement agricole en Algérie (Aoul, 2007). Le changement climatique touchera aussi fortement les légumes dont la productivité diminuerait de 15 à 30 % d'ici 2030 (Bindi et Moriondo, 2005).

5.3. Le changement climatique et les céréalicultures

Les simulations prédisent une perte de rendement des céréales lors que l'augmentation de température est supérieure à 2,3°C, mais qu'une teneur élevée en CO₂ (supérieure à 640 ppm) peut compenser l'effet négatif d'une augmentation de température de +2°C et d'une diminution de précipitation de -20 %. Cependant, les résultats montrent que l'effet du changement climatique sur le rendement varie fortement entre sites, probablement du fait de différences de caractéristiques des sols et de pratiques agricoles, mais aussi de différences dans les modèles utilisés pour faire les simulations (INRAf, 2014).



Chapitre II:

*Présentation du
modèle STICS*

CHAPITRE II : Présentation du modèle STICS**1. Aperçu sur les modèles de simulation de culture**

Le développement de l'informatique a permis l'essor des « modèles de cultures », reproduisant le comportement d'une culture et sa réponse à diverses contraintes du milieu modulées par des actes techniques (Affholder, 2001).

Les modèles des cultures, nés il y a 25 ans, sont très utilisés en agronomie (Brisson, 2002). Ils simulent le fonctionnement dynamique du système sol-couvert végétal, dont le pas de temps est le plus souvent journalier, c'est-à-dire qu'ils décrivent l'état du système chaque jour (Barbottin, 2004). Les premiers travaux dans ce domaine ont porté sur la simulation des flux hydriques dans le système sol-plante-atmosphère, dans le but d'optimiser la gestion de l'irrigation (Hanks *et al.*, 1989)

2. Présentation du modèle STICS

STICS (Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standards) est un modèle de culture conçu par l'I.N.R.A d'Avignon, en collaboration avec des instituts techniques (AGPM, ITCF), comme un outil de simulation opérationnel en conditions agricoles (Pindard, 2000).

STICS est un modèle de fonctionnement des cultures à pas de temps journalier. Ses variables d'entrées tiennent compte du climat, du sol et du système de culture. Ses variables de sorties sont relatives à la production (quantité et qualité), à l'environnement et à l'évolution des caractéristiques du sol sous l'effet de la culture. Son principal objectif est de simuler les conséquences des variations du milieu et du système de culture sur la production d'une parcelle agricole. Il a aussi été conçu comme un outil de travail, de collaboration et de transfert des connaissances vers des domaines scientifiques connexes (Brisson *et al.*, 1998).

Les grands processus simulés sont la croissance et le développement de la culture, ainsi que les bilans hydrique et azoté. Les formalisations choisies reposent le plus souvent sur des analogies connues ou sur la simplification de formalisations plus complexes. Les fonctions utilisées ont aussi été choisies pour leur qualité générique, ce qui nous a permis de les appliquer à diverses cultures (Brisson, 2002).

2.1. Organisation en modules et optionalité

Le modèle STICS est organisé en modules, chaque module faisant appel à un certain nombre de sous-programmes(ou sous-modules) traitant de mécanismes spécifiques.

Un premier ensemble de trois modules traite de l'écophysiologie des parties aériennes des plantes (développement, croissance aérienne, élaboration du rendement), un second ensemble de quatre modules traite du fonctionnement du sol en interaction avec les parties souterraines des plantes (croissance racinaire, bilan hydrique, bilan azoté, transferts). A l'interface se trouve un module de gestion des interactions entre les techniques culturales et le système sol-culture, qu'il s'agisse des apports d'eau, d'engrais ou du microclimat. ((Brisson *et al.*,2003).

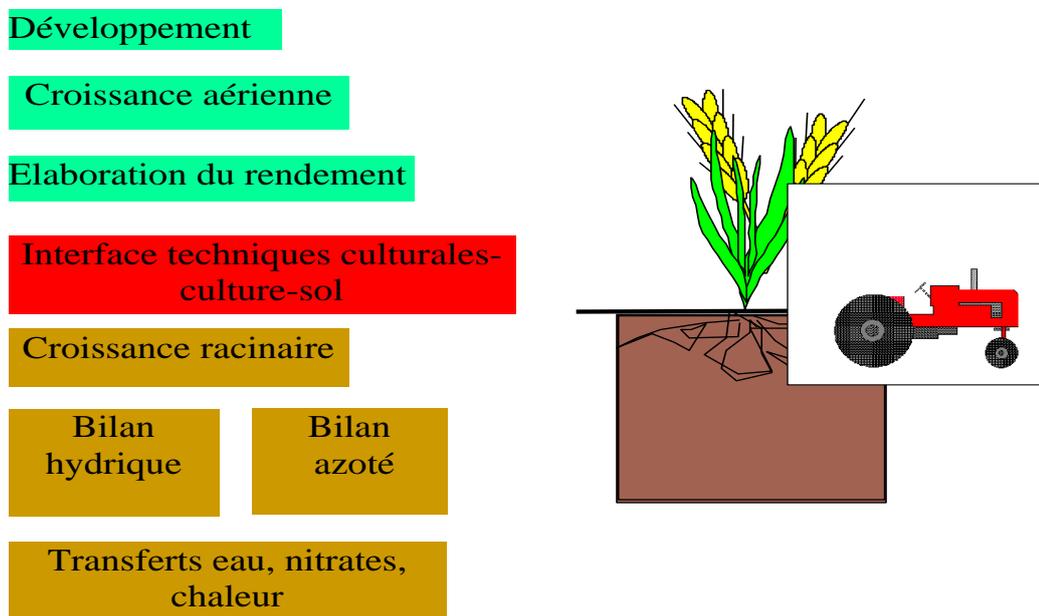


Figure 4: Organisation de STICS et ces modules (fiche technique du modèle STICS)

Il existe également des options de choix de formalismes qui ont deux objectifs :

- Permettre de tester des choix de formalismes à l'intérieur du modèle (ex : option densité racinaire vraie/profil type, effet température sur le remplissage,...). Dans ce cas, elles ont un caractère provisoire dans l'attente des prochaines réunions.
- Permettre d'étendre l'adaptation du modèle à des systèmes de culture variés (ex: option culture déterminée/indéterminée, option macroporosité sol, option culture fauchée,...).

2.2. Modules et formalismes du STICS

2.2.1. Développement

Différents stades de développement sont simulés principalement en fonction du temps thermique (température base 6°C : Pindard, 2000) ponctués par la levée, la montaison, la floraison, le remplissage du grain et le début de la sénescence (tableau 1)

Tableau 1 : Stades de développement considérés par STICS (Brisson *et al.*, 1997)

Stades végétatifs	Stades reproducteurs
PLT : semis (plantes annuelles)	
LEV : levée	
AMF : accélération maximale de croissance foliaire, fin de phase juvénile	FLO : floraison
LAX : indice foliaire maximal, fin de croissance foliaire	DRG : début du remplissage des organes récoltés
SEN : début de la sénescence nette	MAT : maturité physiologique
LAN : indice foliaire nul	REC : récolte

2.2.2. Croissance aérienne

L'indice foliaire suit une évolution en quatre phases dans le modèle : deux phases de croissance, une de stabilité et une de sénescence. Compte tenu de son importance pour le calcul du rayonnement intercepté, le modèle SITCS simule le plus finement que possible l'indice foliaire en particulier au début et fin de cycle (Hadria, 2006). Une unité de développement foliaire est définie (de 1 à la levée à 3 au maximum de l'I.F).

2.2.3. Elaboration du rendement

Dans le cas des plantes à croissance déterminée, on fait l'hypothèse que le nombre et le remplissage des organes de récolte n'influence pas la croissance végétative (Brisson, 2002).

Dans le STICS, le nombre d'organes récoltés est fixé pendant une phase qui précède le début du remplissage (phase de latence) et dépend de la vitesse de croissance moyenne de la culture durant cette phase. Le nombre de grains croît linéairement avec la vitesse de croissance et dépend d'un paramètre génétique qui est le nombre de grains maximal (Brisson *et al.*, 2003). La matière sèche accumulée dans les grains est calculée en appliquant un indice de

récolte, qui est une fonction linéaire du temps entre les stades DRG et MAT. La masse de chaque grain est ensuite calculée comme le rapport entre le rendement et le nombre de grains (Pindard, 2000).

2.2.4. Croissance racinaire

Dans STICS, la croissance des racines n'est pas exprimée en termes de biomasse mais en longueur, indépendamment de la partie aérienne. Le rôle des racines se limite à l'alimentation hydrique et azotée (Brisson, 2002).

2.2.5. Fonctionnement hydrique

Le calcul du bilan hydrique dans le modèle STICS est relativement complet. Il est décomposé en évaporation du sol (potentielle et réelle) puis sa répartition dans le profil du sol, et en besoins en eau de la culture (Garcia *et al.*, 2004).

2.2.6. Fonctionnement azoté

Sur le même principe que le module de fonctionnement hydrique, le module de fonctionnement azoté utilise le concept de facteur limitant et compare chaque jour l'offre du sol et la demande de la culture (Brisson et Delecolle, 2001).

3. Intérêt et limites du modèle STICS

3.1. Intérêt

STICS est présenté comme un modèle ayant des qualités de robustesse, facilité d'accès aux données d'entrée, souplesse d'évolution et de facilité d'adaptation à différentes plantes.

Originalité par rapport aux autres modèles :

- Utilisation de données d'entrée facilement disponibles (peu gourmand en données d'entrée) ;
- Travail en condition agricole (plus facilement opérationnel) ;
- Généricité : adaptable pour différentes cultures même s'il a été conçu au départ pour le blé et le maïs. STICS a déjà été utilisé sur tomates, bananiers, soja, betterave, Cotton, ... sans modification de sa structure.

3.2. Limites

Absence de prise en compte de certains phénomènes :

- volatilisation de l'ammoniac ;

- effet possible de l'alimentation azotée sur le début de la sénescence de la canopée.
- résistance à la sécheresse ;
- sol asphyxiant ;
- combinaison stress hydrique – stress azoté ;
- prise en compte des pathologies.

(Pindard, 2000).

Chapitre III:

Aperçue générale sur le blé dur

Chapitre III : Aperçu général sur le blé dur**1. Importance des céréales**

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (FAO, 2014).

1.1. Situation des céréalicultures**1.1.1. Dans le monde**

Aujourd'hui les céréales constituent une part importante dans les ressources alimentaire et des échanges économiques dans le monde. Selon la FAO (2014), la production mondiale des céréales atteinte un niveau record, qui dépasse les 2,5 milliards de tonnes avec une surface cultivée autour de 691,4 millions d'hectares, soit plus de 14,4 % de la surface agricole mondiale, parmi ces céréales, le blé est la céréale la plus cultivée au monde (USDA, 2013), occupant la deuxième place mondiale après le maïs soit 29% de la production mondiale. Les besoins de consommation des populations ne cessent pas à s'aggraver devant une forte évolution démographique.

1.1.2. Dans l'Algérie

La céréaliculture Algérienne est essentiellement le blé dur, le blé tendre et l'orge, la production des céréales occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, la superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha (Djermoun, 2009).

Les besoins de l'Algérie en céréales sont estimés à environ de 8 millions de tonnes par an, Ces besoins ne cessent pas à la croissance devant une forte évolution démographique (OAIC, 2013). En relations avec le marché mondial, les produits céréaliers représentent plus de 40% de la valeur des importations algérienne des produits alimentaires qui occupent le premier rang (Djermoun, 2009).

Le graphique suivant représente l'évolution de production de principales céréales en Algérie.

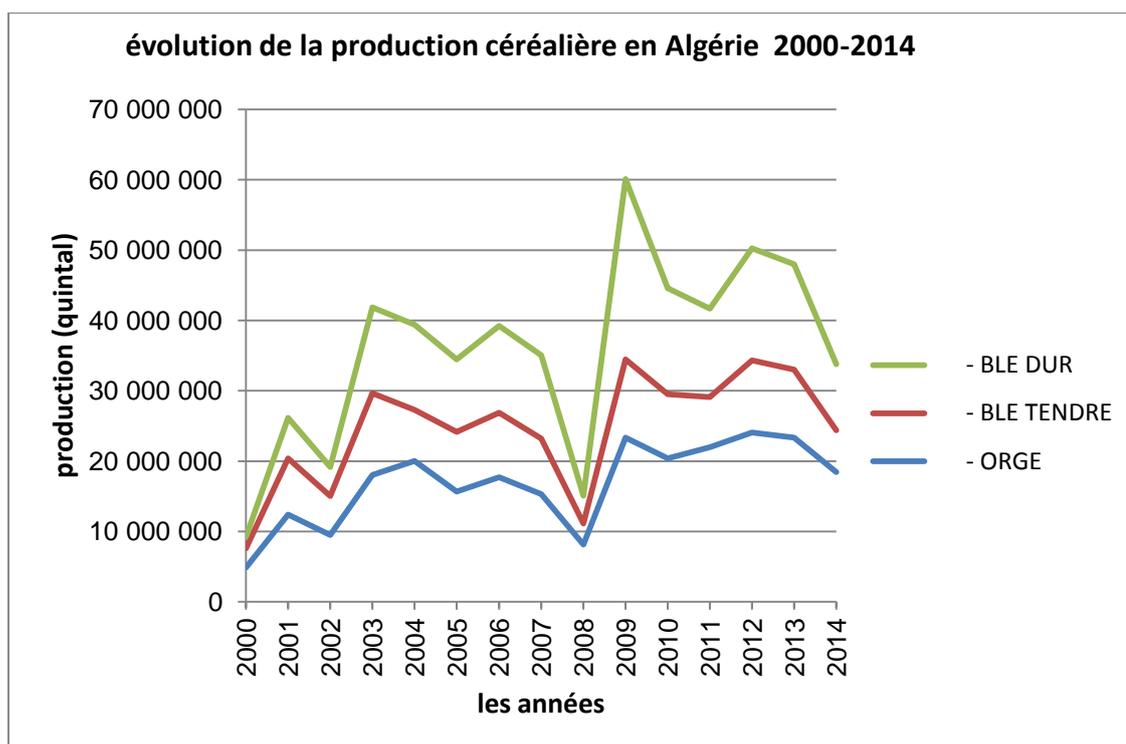


Figure 5 : Evolution de production de principales céréales en Algérie (DSA, 2015)

2. Etude de la culture du blé

2.1. Origine et historique du blé

Le blé dur (*Triticum durum Desf.*) est une plante annuelle de la classe des monocotylédones de la famille des poaceae, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum* (Feillet, 2000). En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre. Leur famille comprend 600 genres et plus de 5000 (Soltner, 1998).

La culture du blé née en Europe il y a 8000 ans, donc elle est la plus ancienne culture dans le croissant fertile de la Mésopotamie (Feillet, 2000).

2.2. Cycle de développement de blé

En général, on distingue trois périodes dans le cycle de développement du blé :

- Période végétative
- Période reproductrice
- Période de maturation

2.2.1. Période végétative

La durée de cette période s'étale du semis jusqu'au début de montaison, elle est caractérisé par trois phases :

2.2.1.1. Phase de germination levée

Le grain du blé ayant absorbé au moins 30% de son poids en eau, on assiste au développement de la coléorize (Clément, 1971).

2.2.1.2. Phase levée-tallage

Cette phase est caractérisée par la formation des nouvelles racines et de plateau du tallage ainsi que par l'apparition de la première feuille

2.2.1.3. Phase tallage-montaison

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance des bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des feuilles, il s'agit d'un simple processus de ramification. Il y a d'abord apparition des talles primaires qui mettent à leur tour des talles secondaires, le tallage dépend de l'apport de la fumure azote (Prats *et al*, 1971).

2.2.2. Période reproductrice

2.2.2.1. Phase montaison-gonflement

Durant cette phase, l'allongement des talles s'accélère et les talles qui n'ont pas montés régressent et finissent par mourir, au cours de cette période de reproduction, on distingue les phases correspondantes à la différenciation des ébauches de l'inflorescence.

2.2.2.2. Phase d'épiaison-floraison

Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille, elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (Gate, 1995).

2.2.2.3. Phase floraison-fécondation

Cette phase se caractérise par la formation des organes floraux. La floraison correspond à la sortie des étamines, lorsque les anthères sortent les glumelles. Cette phase correspond au début de la formation des grains.

2.2.3. Période de maturation

C'est la période de formation et de dessiccation du grain, on peut diviser pratiquement en trois phases :

- Phase maturation laiteux.
- Phase maturation pâteux.
- Phase maturation complète.

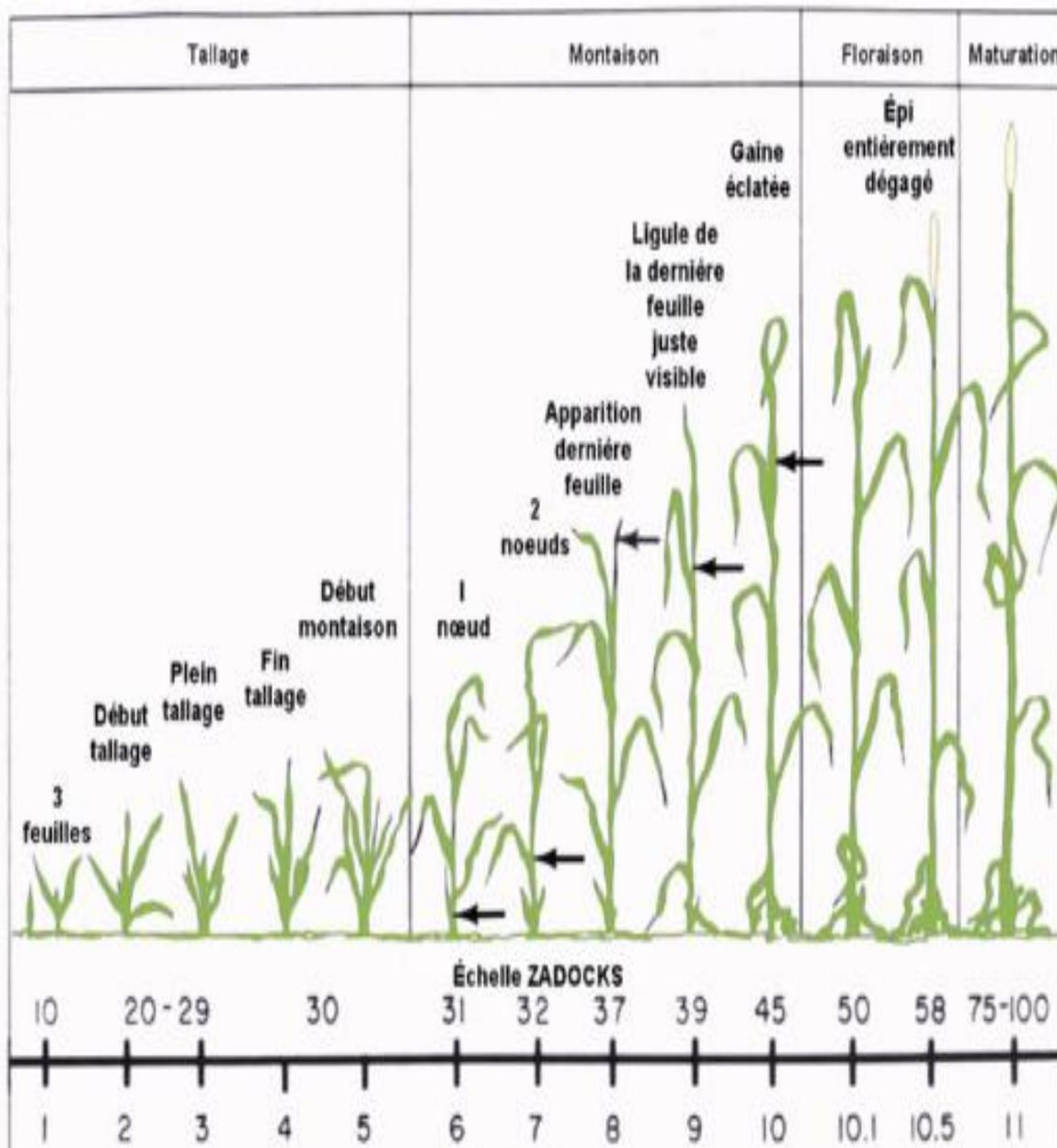


Figure 6 : Les stades de développement du blé (ITGC, 2011)

3. Exigences du blé dur

3.1. Climatique

3.1.1. Eau

L'eau est un facteur limitant important pour la croissance du blé, depuis la germination jusqu'à la phase reproductrice (Moule, 1980). Les besoins en eau correspondant à un bon rendement sont de 450 à 650 mm selon le climat et la longueur du cycle végétatif (Doorembos et Kssam 1979). D'après Slotner (1998), il existe trois périodes critiques du développement qui nécessitent des quantités importantes d'eau : levée, différenciation des pièces florales (fin de tallage à début montaison) et remplissage des grains.

En effet, Zaïre (1991) indique qu'un apport d'eau au moment du grossissement des grains permet d'augmenter le rendement de 15qx/ha et ainsi que la consommation journalière en eau du blé croît régulièrement de la montaison à la floraison (montaison 3,5 à 4mm/jour, épiaison : 6mm/jour, formation du grain : 7,5 à 8mm/jour).

3.1.2. Température

Selon Jussiaux (1980), la température conditionne à tout moment la physiologie du blé, elle est considérée comme un facteur d'action sur la croissance ; en effet une température supérieure à 0°C (5 à 10°C au maximum) est nécessaire pour la germination des céréales, 16°C au maximum pour la floraison. Au-delà d'une température maximum de 30°C, il y a un risque d'échaudage physiologique qui est d'autre part causé par le sirocco à partir du printemps (Couvreur, 1985).

La plante doit recevoir une certaine quantité de température pendant son cycle végétatif, il faut un total de 2300°C (Jussiaux, 1980) et qui se répartissant comme suit :

- Semis-germination : 150°C,
- Germination-tallage : 500°C,
- Tallage-floraison : 850°C,
- Floraison-maturité : 800°C.

3.1.3. Lumière

Le blé dur est une plante à jour long, car il forme des ébauches d'épillets, lorsque la durée d'éclairement dépasse le seuil appelé héméroperiode critique qui diffère selon les variétés, de

21 à 41 heures, cependant les jours courts retardant beaucoup l'initiation floral qui pourrait coïncider avec une période sèche et des conditions difficiles d'humidité (Boyeldieu, 1993).

3.2. Exigences édaphique

3.2.1. Sol

Toutes les terres conviennent à la culture des céréales à condition toute fois qu'elles soient préparées soigneusement.). Soltner (1998), affirme que le blé s'accommode à des terres bien différentes si l'on emploie des fumures et des variétés appropriées

Les textures idéales sont limoneuses, argilo-siliceuses et argilo-calcaire riches en éléments fertilisants stable et à pH approchant de la neutralité (Prats, 1971). Il est important que l'enracinement soit abondant et actif et que l'eau et divers éléments minéraux arrivent en contact du système racinaire, donc le sol doit être assez profond bien ameubli et de bonne structure pour conserver l'humidité en fin du cycle (Soltner, 1998).

3.2.2. Les éléments fertilisants

L'azote C'est un facteur déterminant du rendement, il permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges ainsi que d'augmentation de la masse végétative, il est apporté par les déchets végétaux ou animaux et par les engrais (urée, ammonitrate ... etc.).

Le phosphore est un facteur de croissance; il favorise le développement des racines en cours de végétation et accroît la résistance au froid et aux maladies il est aussi un facteur de précocité car il accélère la maturité

3.3. Technique culturale

3.3.1. Rotation

Les meilleures précédents du blé varient suivant les régions et les conditions de culture, cependant la plus part des cas, en classe les précédents par ordre de valeur décroissante: la pomme de terre, les légumineuses à graines, la betterave sucrière, la luzerne, enfin les cultures de graminées (Clement, 1971).

3.3.2. Préparation du sol

Le travail du sol est déterminant pour :

- Améliorer l'état physique du sol, aération, infiltration ;
- Conserver l'eau dans le sol ;

- Eliminer les mauvaises herbes ;
- Préparer le lit de semence.

3.3.2.1. Le déchaumage

Doit se faire aussitôt après la récolte de la culture précédente.

3.3.2.2. Labour et travail superficiel

Le labour ameublir le sol en profondeur et le travail superficiel doit être répété en fonction de l'état du sol et de l'infestation en mauvaises herbes.

3.3.2.3. Les semis

Pour le semis en utilise le semoir en lignes, et éviter le semis à la vole, pour calculer la quantité à semer, il faut connaître le poids de 1000 grains et la faculté germinative (pourcentage des grains qui germent).

3.3.3. La fertilisation

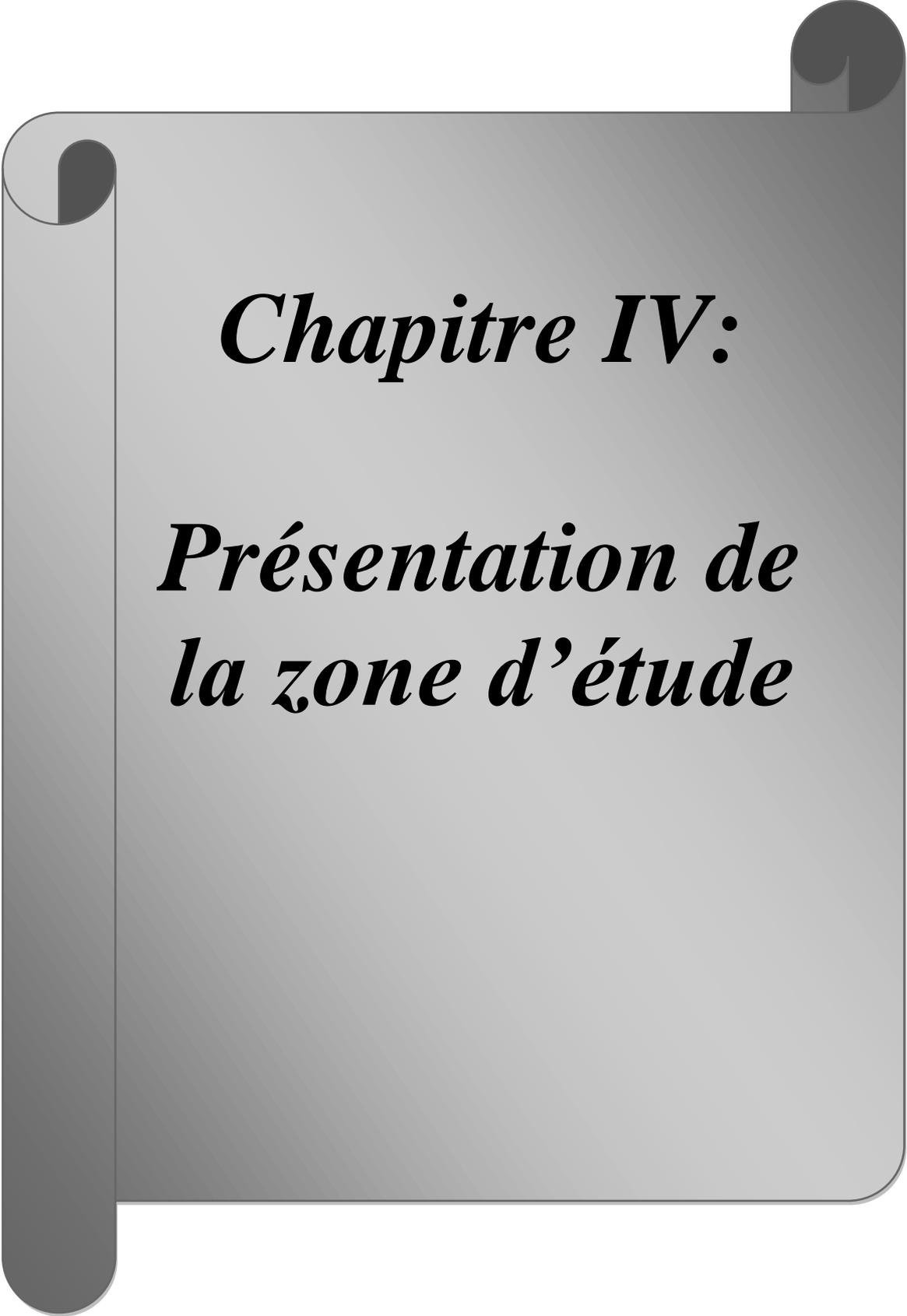
Pour produire 1 quintal du blé dur, il faut 3,5 unités d'azote, 1,5 unité de phosphore et 1,8 unité de potassium, le premier apport d'azote est fait du semis au stade 3 à 4 feuilles et le deuxième apport d'azote : est à la fin du tallage ainsi que la quantité d'engrais à apporter par hectare est selon l'objectif de rendement 25qx/ha :

3.3.4. Le désherbage

Les mauvaises herbes concurrencent la céréale pour l'alimentation hydrique, la nutrition minérale, la lumière et l'espace

3.3.5. La récolte

La moissonneuse doit être vérifiée bien avant la moisson, on récolte dans des bonnes conditions et à pleine maturité et il doit être commencé par les variétés précoces et finir par les variétés tardives pour limiter l'égrenage avec une humidité du grain comprise entre 12 et 15%. (ITGC, 2011).



Chapitre IV:

***Présentation de
la zone d'étude***

Chapitre IV : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

La wilaya d'Ain Defla est située à 145 km au Nord-Ouest de l'Algérie et s'étend sur une superficie de 4544,28 km².

La wilaya d'Ain Defla est limitée par 05 wilayas :

- Au Nord la wilaya de TIPAZA
- Au Nord-Est la wilaya de BLIDA
- A L'Est la wilaya de MEDEA
- A l'Ouest la wilaya de CHLEF
- Au Sud la wilaya de TISSEMSSILT



Figure 7 : situation géographique et limites de la wilaya d'Ain defla

2. Topographie

Le territoire de la wilaya est modelé selon sa configuration géographique avec :

A) Les monts du DAHRA-ZACCAR

Limité à l'Est par la MITIDJA et l'ATLAS BLIDIEN, au Nord par la mer, au Sud par la plaine du Cheliff et à l'Ouest par la plaine HABRA. Cet ensemble se scinde en deux blocs distincts :

B) Les monts de l'OUARSNIS

Au sud, on retrouve les monts de l'OUARSNIS qui restent un ensemble très important de l'atlas tellien. Le sommet le plus haut est à 1700 m, et est situé à la limite sud de la wilaya au

niveau de la commune de TARIK IBN ZIAD. La formation rocheuse de cet ensemble est schiste marneuse favorisant l'érosion. Les pentes sont comprises entre 10% et 30%.

C) La plaine du Cheliff

Au centre se trouve une plaine sous forme de cuvette qui reste compartimentée entre les deux reliefs infranchissables (l'OUARSNIS et le DAHRA -ZACCAR). Il s'agit de la plaine du Cheliff et fait en moyenne 3 km de large sur 60 km de long et s'étend le long du territoire de la wilaya d'Est en ouest.

3. Ressources en eaux

La wilaya d'AIN-DEFLA dispose de grandes réserves hydriques tant souterraines que superficielles. qui sont les suivants:

- 1237 Forages : avec un débit moyen 12 L/s par unité.
- 05 Barrages : avec capacité cumulée 491 Hm³.
- 2 074 Puits : avec un débit moyen 1.5 L/S par unité.

4. Le sol

Les sols du haut Cheliff (là où se situe la wilaya d'Ain Defla) sont caractérisées par la prédominance d'éléments fins donc c'est la catégorie des terres fortes, la plus part des sols ont un fort pourcentage de calcaire actif supérieur à 10%, les sols ne sont pas salés et de type argileux limoneux. (Legouple, 1974)

4.1. Analyse physique des sols

Le tableau ci-dessous représente les propriétés physiques des sols dans la wilaya d'Ain-Defla.

Tableau 2 : Analyse physique des sols (ITGC Khemis Miliana, 2007)

Profondeur (cm)	Charge (%)	Granulométrie (%)					Classe texturale
		A	L.F	L.G	S.F	S.G	
0-40	27,65	32	30	19,6	10,7	7,7	L.A
40-70	10,02	40	15	17,3	19,1	8,6	A
70-100	23,02	50	10	12	17,7	10,3	A
> 100	31,40	50	10	04	13,6	17,2	A

L'analyse physique des sols nous permet de les classer dans la catégorie des sols lourds, du type limono-argileux.

4.2. Analyse chimique des sols

Les propriétés chimiques des sols sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Analyse chimique du sol (ITGC Khemis Miliana, 2007)

Horizons (cm)	CaCO ₃ total(%)	CE (µm/m)	pH	MO (%)
0-40	3,52	1,6	8	1,51
40-70	3,97	1,85	7,8	1,08
70-100	19,79	1,98	8	0,75
> 100	15,66	2,11	8,2	0,10
Moyenne	10,73	1,88	8	0,86

- **Calcaire totale** : Les sols ayant une faible teneur en calcaire.
- **Salinité** : La conductivité électrique des sols est faible car elle est inférieure à 4 mmhos/cm.
- **pH** : Selon le tableau ci-dessus les sols d'Ain Defla sont basiques.
- **Matière organique (MO)** : Les sols d'Ain Defla ayant une faible teneur en matière organique.

5. L'agriculture dans la wilaya d'Ain Defla

La wilaya d'Ain-defla recouvre une superficie agricole totale (SAT) de 235 611 ha soit 51.8% de la superficie totale de la wilaya. La superficie agricole utile (SAU) est de l'ordre de 181 676 ha soit 77.1% de la SAT. Elle était de 170 384 ha en 1998 soit une augmentation absolue de 11 292ha de 1998 à 2011 (DSA, 2015). La wilaya d'Ain Defla est divisée en trois superficies :

- Le massif nord (DAHRA ZACCAR) : qui représente 37% de la SAU caractérisé par l'agriculture de subsistance.
- La plaine centrale qu'il s'agit de la plaine du Chélif représente 35% de la SAU basé sur les polycultures et l'élevage laitier.
- Le massif Sud (OUARSENIS), représente 26% de la SAU basé sur les céréales et l'élevage en extension.

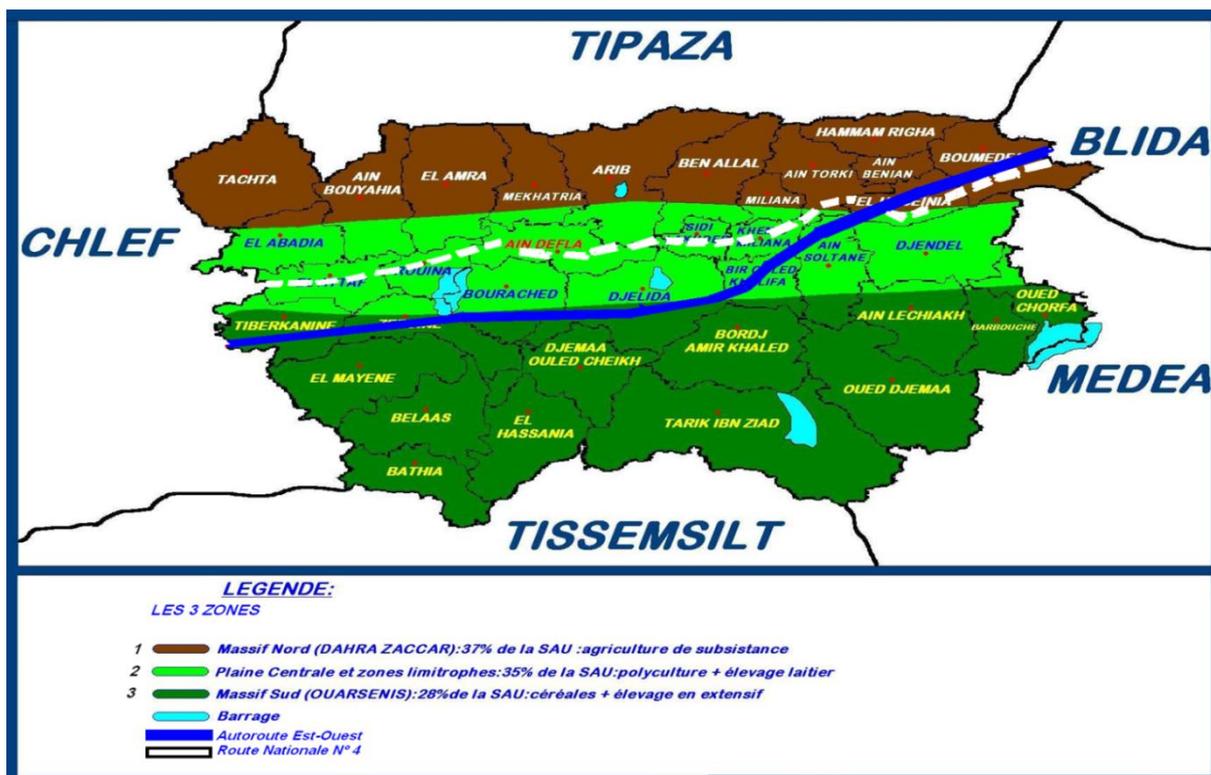


Figure 8 : Les superficies agricoles dans la wilaya d’Ain Defla (DSA, 2015)

5.1. Les céréalicultures dans la wilaya d’Ain Defla

D’après les statistiques agricoles au niveau de la wilaya, les céréales occupent la plus part de la superficie agricole et représentent 41% de cette superficie (figure 9) suivi par les maraichages qui représentent 19% de la superficie agricole, en suite la pomme de terre qui occupe 13% de la superficie et les fourrages 10%, l’arboriculture 9%, et 5% pour les noyaux pépins, et 1% pour les agrumes.

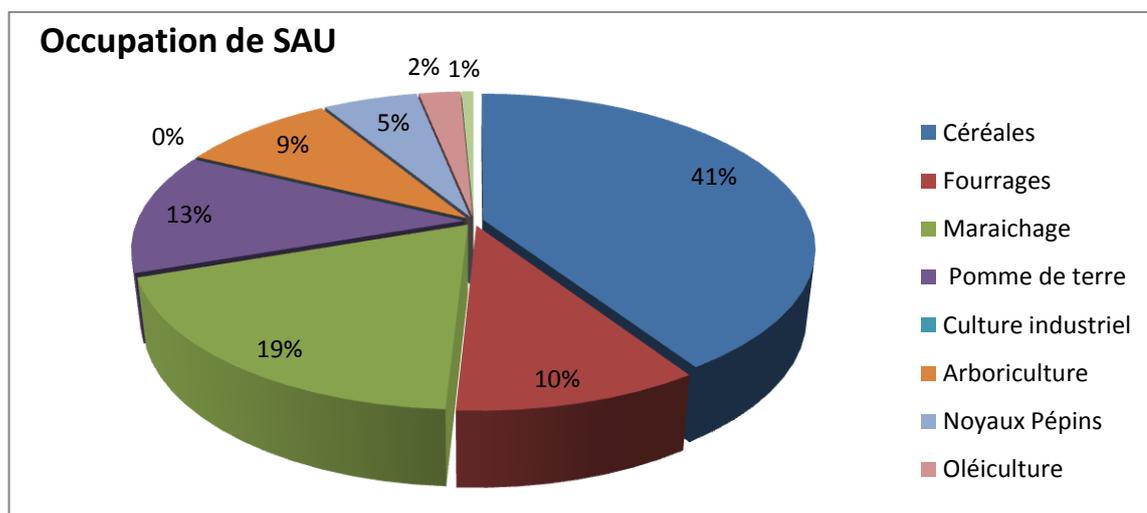


Figure 9 : Occupation de la superficie agricole dans Ain Defla (DSA, 2015)

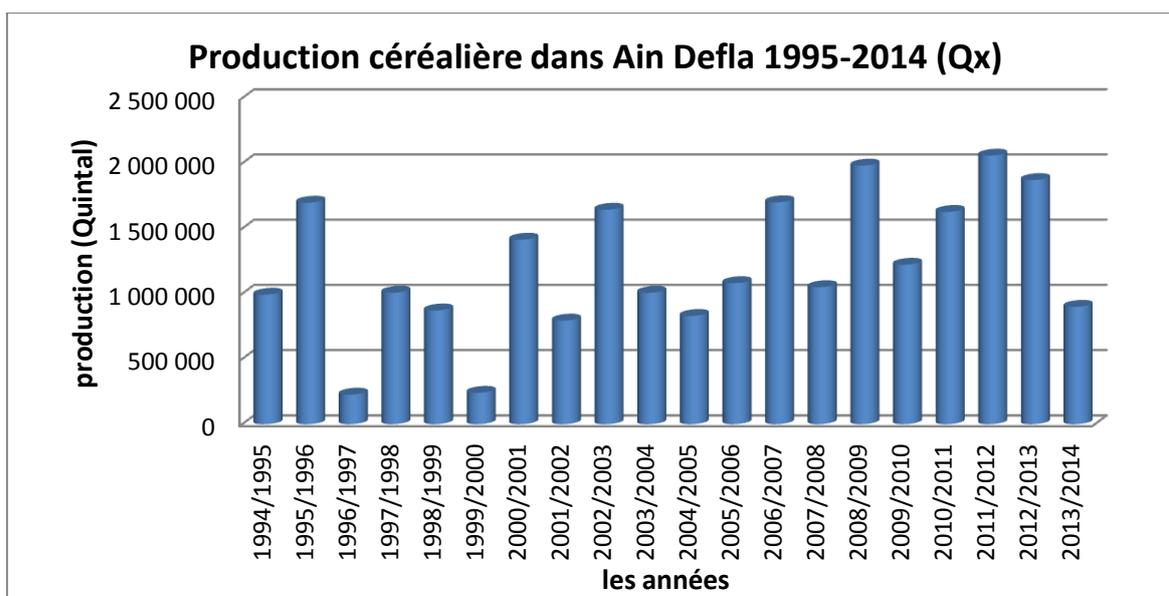


Figure 10 : Evolution de la production céréalière dans la wilaya d'Ain Defla (DSA, 2015)

La production céréalière dans la wilaya d'Ain Defla a connue une divergence très remarquable d'une année à une autre, dont la plus faible production a été marquée dans la saison 1996/1997 et 1999/2000 avec une production de l'ordre de 226770 Qx et 240900 Qx respectivement, vis-à-vis une production considérable à été marquée en 2008/2009 et 2011/2012 où la production est atteinte de 1982907 Qx et de 2059442 successivement.

Cette divergence est due souvent aux variations des conditions climatiques principalement la pluviométrie et la température, ainsi que les superficies réservées pour les céréales chaque saison.

5.2. Blé dur dans la wilaya d'Ain Defla

Le blé dur est considéré comme le principal produit céréalier dans la wilaya d'Ain Defla, avec une production souvent remarquable à celles des autres céréales (plus de 70% de la production céréalières annuelle).

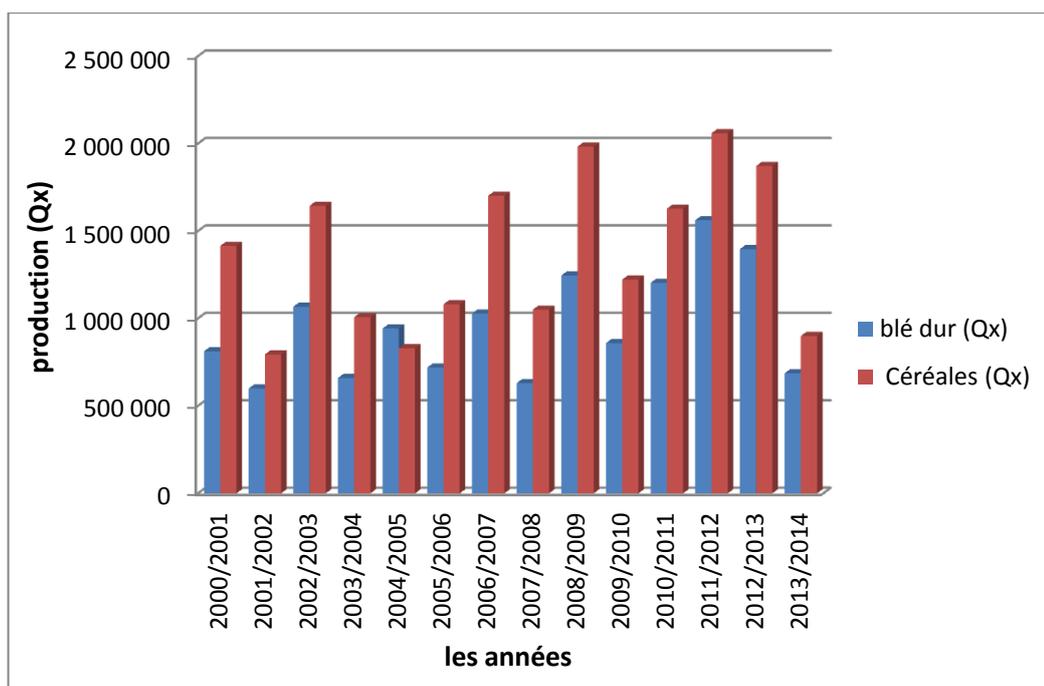


Figure 11 : Contribution du blé dur en production céréalière dans la wilaya d'Ain Defla

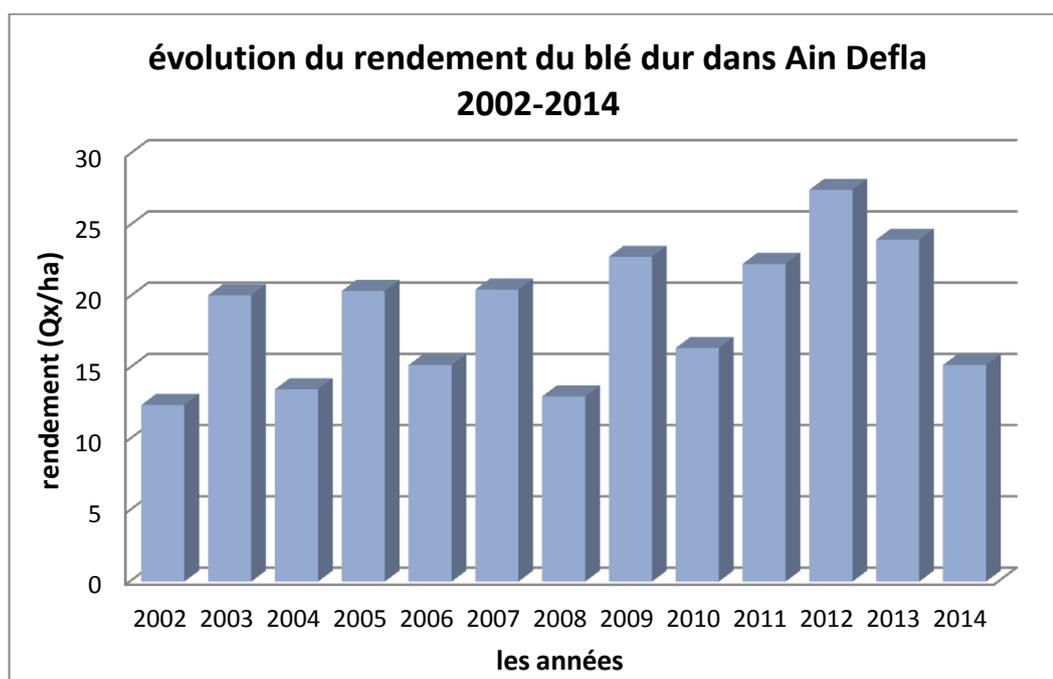


Figure 12 : Evolution du rendement du blé dur dans la wilaya d'Ain Defla (DSA, 2015)

6. Climat

La précipitation, la température, la vitesse du vent, la durée d'insolation,... sont des facteurs climatiques qui jouent un rôle déterminant dans le développement des cultures et l'estimation du potentiel de leur rendement (Bouazza *et al.*, 2002).

L'étude climatique est basée sur les données de la station météorologique du barrage Harreza qui a été prise comme une station de référence représentant notre région d'étude.

Les analyses de la précipitation reposent sur une période qui s'étale de 1985 à 2014, et une période de 2002-2014 pour la température, l'humidité, la durée d'insolation et la vitesse du vent.

6.1. Précipitations

6.1.1. La répartition annuelle des précipitations

La région d'Ain Defla est située dans la plaine de Haut Chélif dans l'étage climatique semi-aride d'une pluviométrie annuelle très variable de 370 mm/an en moyenne.

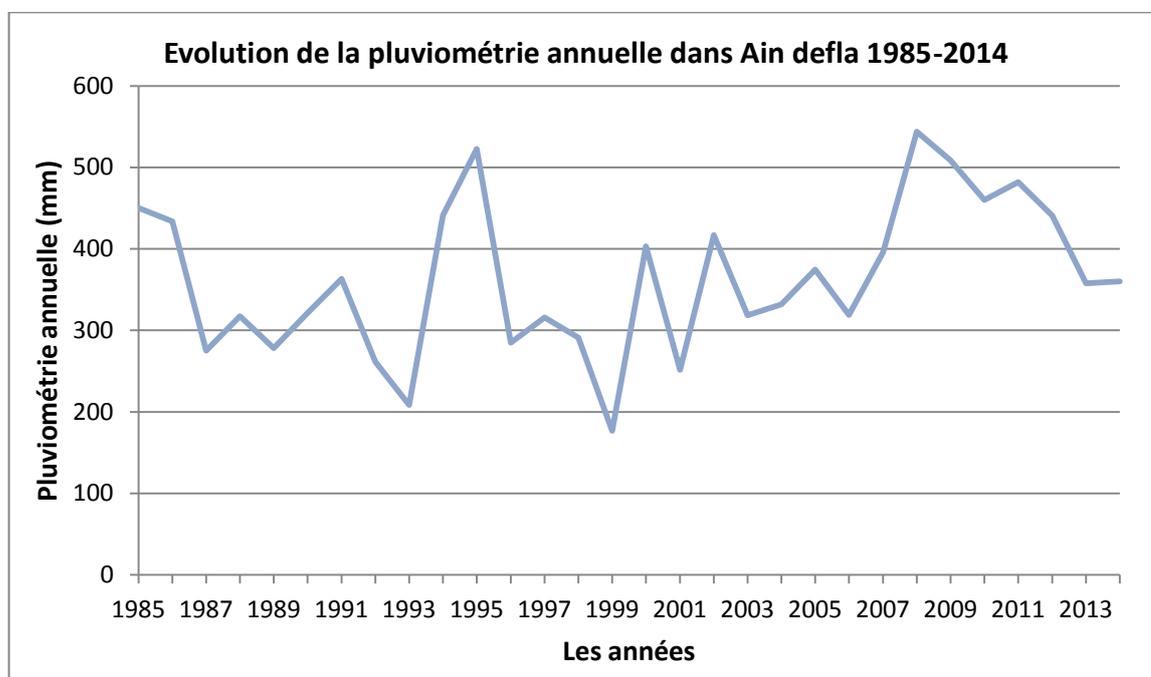


Figure 13 : Evolution des précipitations moyenne annuelles (1985-2014) (ANRH, 2015)

D'après la figure ci-dessus ; on remarque que la pluviosité est marquée par une grande variabilité, les années les plus pluvieuses sont celles de 2008 et 1995 avec un cumul annuel de 543,90 mm et de 522,53 mm respectivement. L'année la plus sèche est de 1999 avec un cumul annuel de 176,6 mm, tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 370 mm.

6.1.2. La répartition mensuelles des précipitations

La pluviosité mensuelle est nettement variable, la distribution des précipitations mensuelles est irrégulière sur toute l'année (figure 14).

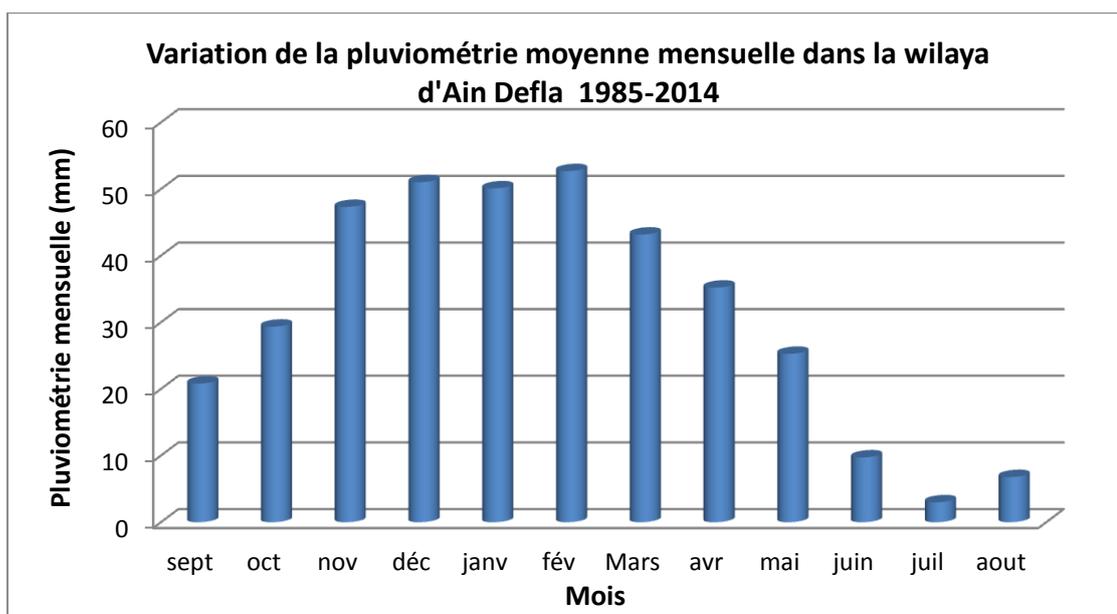


Figure 14 : Répartition mensuelle des précipitations (ANRH, 2015)

6.2. Température

La température est un facteur très important en interaction avec les autres facteurs météorologiques tels que la précipitation, l'humidité et l'évapotranspiration, qui interviennent dans tous les stades de développement de la culture du blé. L'augmentation de la température entraîne une augmentation des besoins en eau d'une culture, et elle gêne souvent les capacités photosynthétiques des cultures qui affectent les rendements.

6.2.1. Température moyenne annuelle

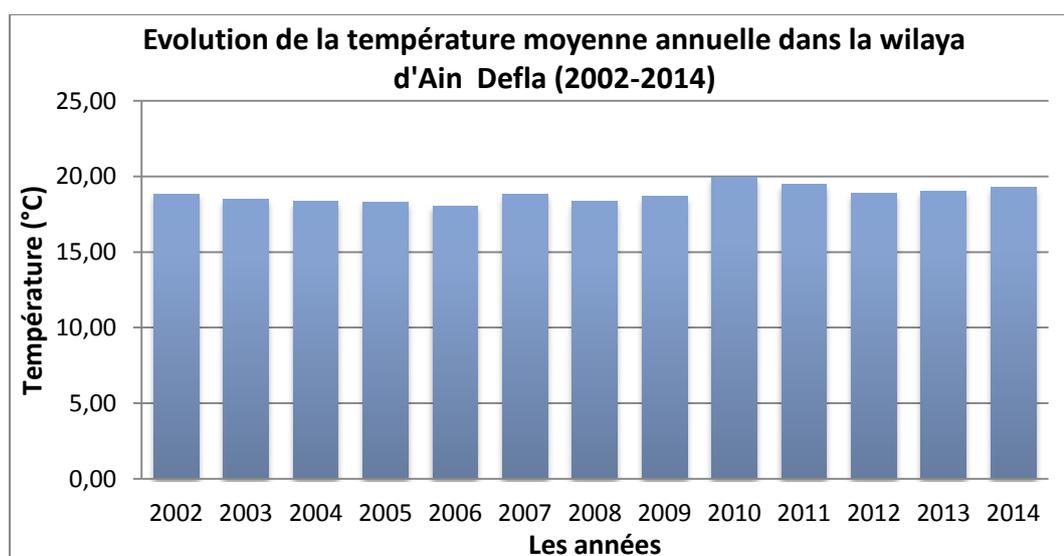


Figure 15 : Evolution de la température moyenne annuelle dans Ain Defla (ANRH, 2015)

L'analyse du graphique découvre des changements de température moyenne annuelle de 2002 à 2014. L'année 2010 considérer comme l'année la plus chaude avec une moyenne de température atteint 19,92°C, tandis que l'année 2006 a enregistré la moyenne de température la plus basse avec 18,06°C.

6.2.2. Les températures moyennes mensuelles

Selon la figure ci dessous, qui résume les moyennes mensuelles des températures moyennes, maximales et minimales, pour la période (2000 – 2014), on peut remarquer :

- Un pôle froid allant du mois de Décembre au mois d'Avril d'où la température moyenne atteint 9.35°C au mois de Janvier.
- Un pôle chaud allant du mois de Mai au mois de Novembre d'où la température atteint 30,71°C au mois de juillet.

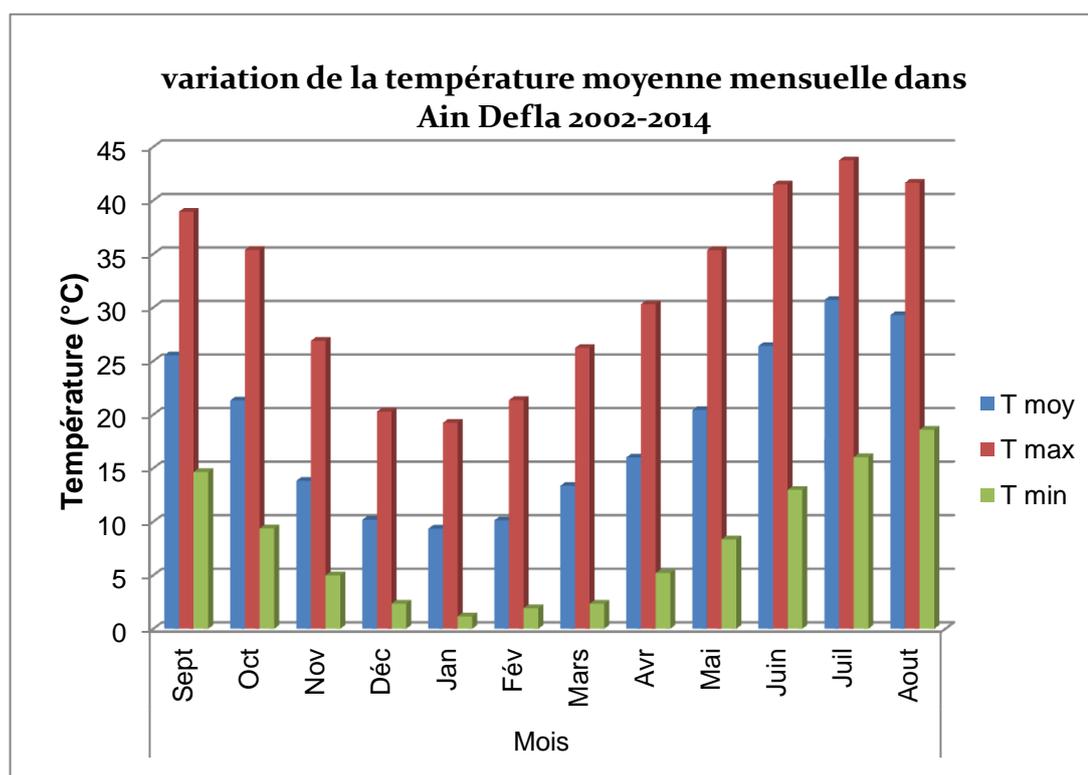


Figure 16 : Variation des températures mensuelles 2002-2014 dans Ain Defla (ANRH,2015)

Les températures moyennes mensuelles, entre novembre et avril, sont inférieures à la moyenne annuelle qui est de 19,3 °C, par contre supérieur à celle-ci en mois de mai à octobre. (Figure 16), divisant ainsi l'année en deux saisons : une froide et une autre chaude.

6.3. Le diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique de Gausson permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température ($P = 2T$).

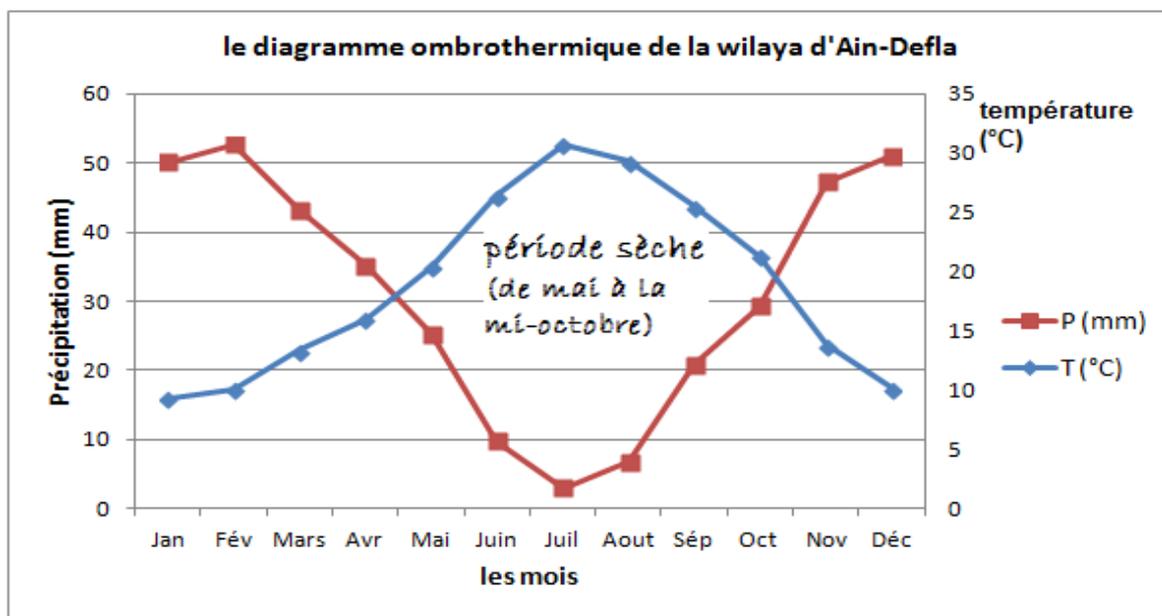


Figure 17 : Le diagramme ombrothermique de la wilaya d'Ain Defla

Le diagramme fait ressortir une période sèche qui s'étale de mai jusqu'à la mi-octobre

(Presque 5,5 mois), et une autre humide pour le reste de l'année (figure 17)

6.4. Climagramme d'Emberger

Il permet de connaître l'étage bioclimatique d'une région. En abscisse la moyenne des minimaux du mois le plus froid, et en ordonnées le quotient pluviométrique (Q_2) d'Emberger:

$$Q_E = (1000 \cdot P) / ((M + m) \cdot (M - m) / 2)$$

Nous avons utilisé la formule d'Emberger modifiée par Stewart (1969) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit: $Q_2 = 3.43 P / (M - m)$

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : moyenne annuelle des précipitations (408,45 mm)

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (315,75 °K)

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid (274,16 °K)

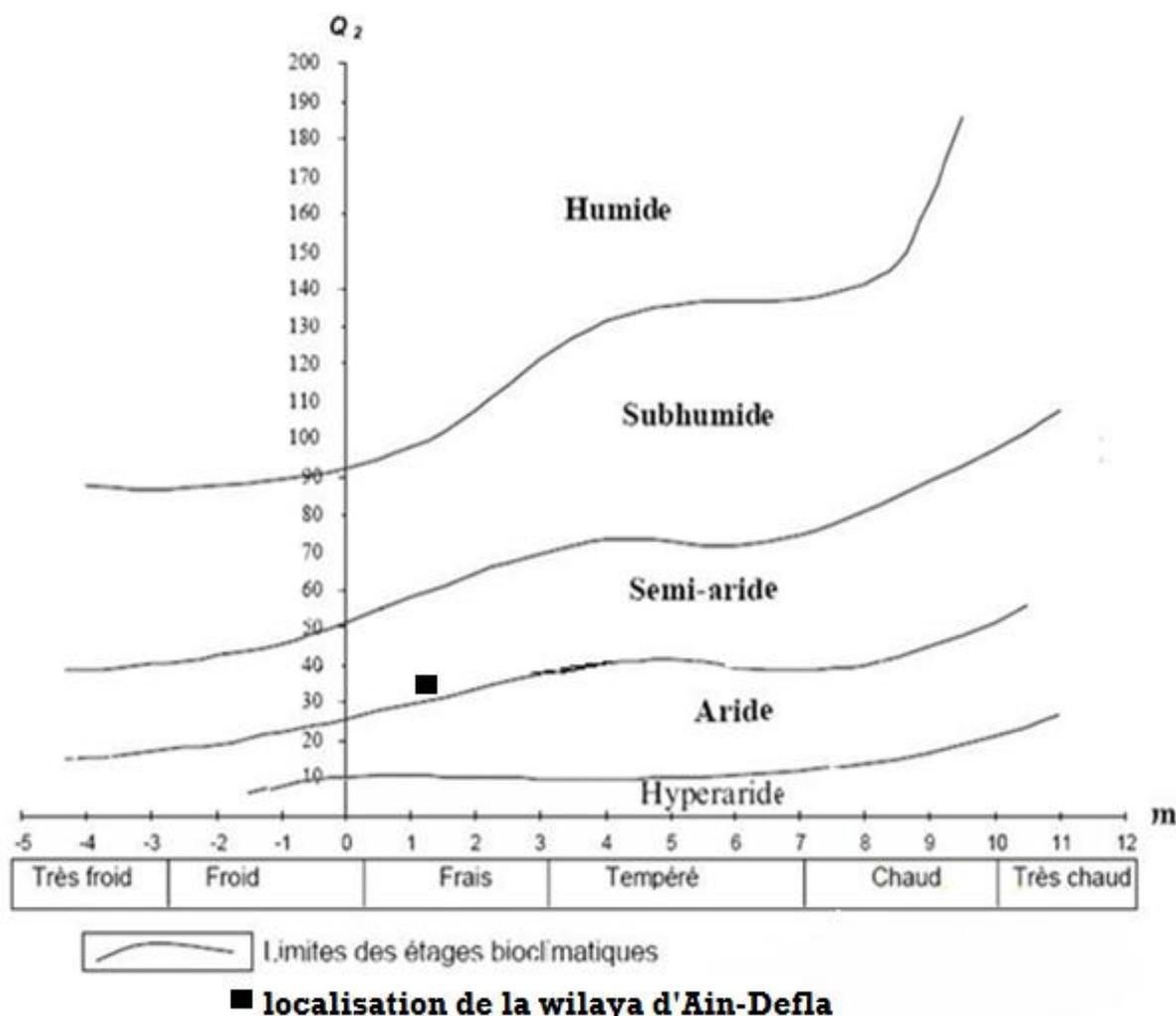


Figure 18 : Localisation de la wilaya d'Ain Defla sur le climagramme d'Emberger

Ces calculs nous ont permis de classer notre région d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride avec un hiver frais soit un quotient égale à **33,68** (figure 22).

5. Humidité

Tableau 4 : Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative dans Ain Defla (ANRH, 2015)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
H (%)	55,26	57,32	55,5	58,85	58,93	54,62	50,91	49,73	47,7	47,1	46,27	48,62

La valeur maximale de l'humidité relative moyenne mensuelle dans la wilaya d'Ain Defla est observée au mois de janvier avec une valeur de 58.93%, tandis que la valeur minimale est

observée durant le mois de juillet avec 46.27%. L'humidité relative moyenne de la station est autour de 52.57%. Donc l'humidité de la région est favorable pour la culture du blé.

6. Vent

Le vent a un rôle important à l'échelle microclimatique car il influe sur d'autres paramètres telles que la température, l'humidité de l'air et l'évapotranspiration.

Tableau 5: Relevés des vitesses de vents moyennes mensuelles dans Ain Defla

(ANRH, 2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Des	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vitesse (Km/h)	2.6	2.59	3.09	3.54	3.03	3.9	3.29	3.22	3.74	2.43	2.48	2.76

D'après le tableau ci-dessus les vitesses moyennes du vent enregistrées dans la wilaya d'Ain Defla, il est remarqué que la vitesse moyenne mensuelle des vents varie de 2.43 à 3.9 Km/h, avec une valeur maximale de 3.9 Km/h au mois de février et une valeur minimale de 2.43 km/h au mois de Juin avec des directions E-NE à N-NW. Ces valeurs montrent que notre région d'étude présente des vents faibles ou modérés n'ayant aucune incidence sur le développement de la culture.

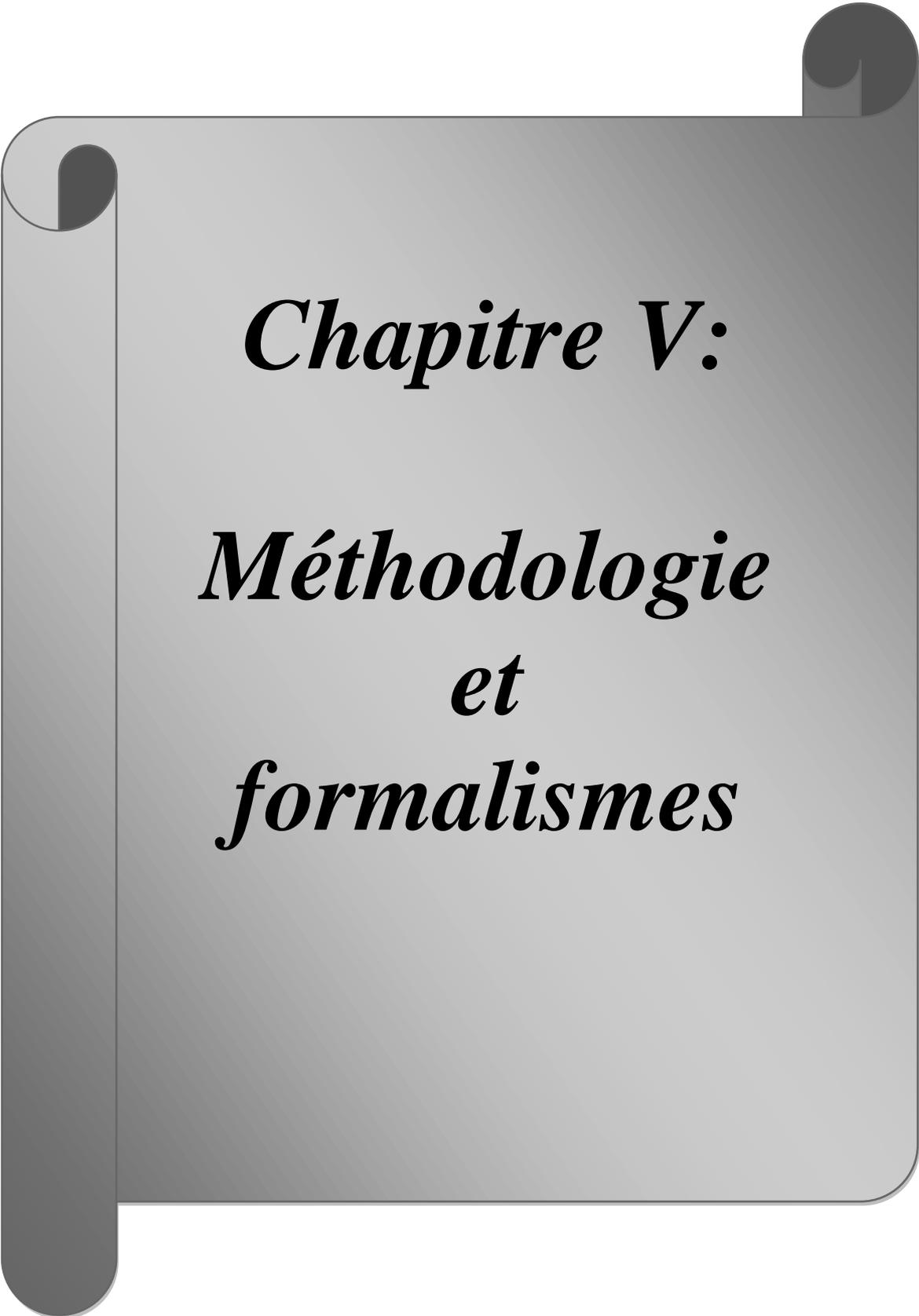
7. Insolation

C'est la durée pendant laquelle le rayonnement solaire a réellement touché le sol; elle dépend de l'état de l'atmosphère, de la couverture nuageuse du lieu et des obstacles physiques existants au tour du site de mesure (Baldy, 1981).

La région d'Ain defla est une région très ensoleillée ; l'insolation atteint son maximum en période estivale soit une valeur 10,97 h/j. (tableau 6)

Tableau 6 : Durée d'insolation mensuelle moyenne dans Ain Defla (ANRH, 2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Durée (h/j)	8.24	6.86	5.77	4.93	4.84	6.23	6.8	7.58	9.32	9.92	10.97	10.15



Chapitre V:

Méthodologie
et
formalismes

Chapitre V : Méthodologie et formalismes**1. Méthodologie d'analyses d'impacts du changement climatique****1.1. Utilisation des scénarios du changement climatique dans le STICS**

Le modèle STICS permet de prendre en compte les données climatiques issues des simulations de GCM pour les différents scénarios proposés A2 et B2 qui ont les seuls à avoir été utilisés pour les simulations climatiques dans les modèles GCM, de la même manière qu'avec des données météorologiques réelles.

Les GCM ont typiquement une résolution horizontale comprise entre 250 et 600 Km, leur résolution est donc très grossière. Ceci signifie que la représentation de la surface de la terre dans le modèle est très lissée par rapport à la réalité, avec des conséquences évidentes sur la véracité de la simulation du climat (Christian, 2005).

L'obtention des données climatiques à plus haute résolution repose sur l'établissement des relations significatives entre les climats locaux et ceux à grande échelle, ce qui permet l'obtention de données utiles à l'échelle du site précis. Ces relations demeureront valides dans les conditions climatiques futures (Semenov et Brooks, 1999). Le passage d'une grande échelle à une échelle locale a été réalisé à l'aide d'un générateur de données climatiques LARS-WG (Semenov et Barrow, 1997 ; Semenov *et al.*, 1998).

1.2. Génération stochastique des scénarios climatiques**1.2.1. Généralité sur LARS-WG**

Le générateur climatique LARS-WG (Semenov *et al.*, 1998) est un modèle stochastique ayant pour but de calculer des séries journalières de température, précipitations et rayonnement à partir de séries observées. Il permet de créer des scénarios climatiques à pas de temps journalier qui sont basés sur les variations mensuelles prévues par les sorties de GCM (González *et al.*, 2005). Ce type de modèle statistique peut :

- Générer de longues séries chronologiques de données météorologiques (précipitations, températures maximales et minimales et rayonnement solaire) qui permettent l'évaluation des risques agricoles et hydrologiques;
- Offrir un moyen de simuler les données météorologiques là où les relevés d'observation sont très courts;

- Servir d'outil moins coûteux en terme de temps de calcul et capable de produire des informations sur les scénarios de changements climatiques à haute résolution.

1.2.2. Méthode d'application des données de GCM dans l'étude d'impact

La méthode des anomalies appliquées dans le générateur climatique LARS-WG (Semenov et Barrow, 1998), permet de calculer des anomalies mensuelles pour chaque variable climatique, comme le rapport (pour la pluie) ou la différence (pour la température) entre le climat mensuel moyen simulé sous les effets du changement climatique qui correspond à un forçage radiatif équivalent à 650 ppm [CO₂] (scénario SRES B2) ou 800 ppm [CO₂] (scénario SRES A2), et le climat de la série contrôle qui correspond à un forçage radiatif de la période qui précède le changement climatique (généralement 1960-1989). Ensuite, elles sont appliquées sur la distribution statistique des données physiques réelles: ce sont les valeurs moyennes ainsi que leurs variabilités qui peuvent être modifiées. LARS-WG, est capable de prendre en compte les modifications sur les moyennes et les écart-types des paramètres climatiques observées. La fiabilité des résultats est déterminée à partir des tests statistiques (Garcia, 2006).

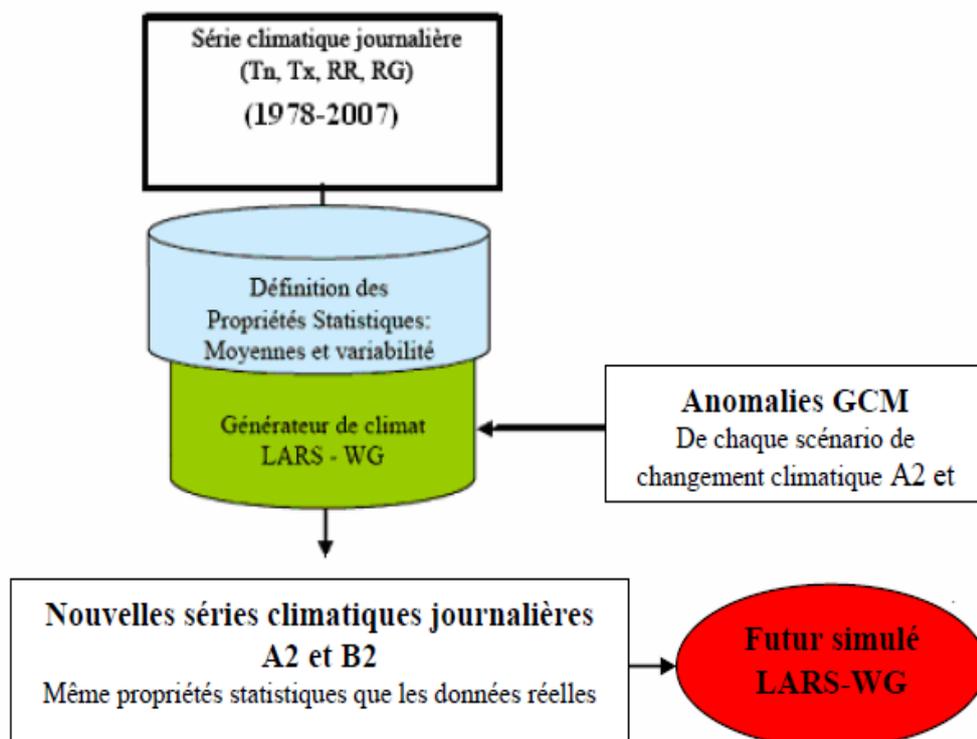


Figure 19 : Schéma qui décrit la méthode des anomalies appliquées dans un générateur climatique LARS-WG. (*T_n* : la température minimale; *T_x* : la température maximale; RR : la pluviométrie; et RG : le rayonnement global). (Garcia, 2006)

1.2.3. Séries de données appliquées dans cette étude

Pour utiliser la méthodologie des anomalies, nous avons utilisé des données réelles issues d'une station météorologiques de l'ONM s'étalant du 1978 à 2007 « série de référence », ainsi que les données des scénarios climatiques A2 et B2 « série future » simulés par le modèle GCM au point de grille le plus proche de notre zone d'étude ($X=0^{\circ}$ E, $Y=37.5^{\circ}$ N).

Les données des scénarios A2 et B2 sont subdivisées en quatre périodes de décennie séparées comme suit ; 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 et 2081-2100. Pour faciliter l'étude, on considère qu'une culture annuelle s'étale sur deux années (une saison agricole), nous choisissons les données appartenant à la décennie considérée pour chaque scénario, ce qui permettra de comparer les situations prévues entre les différentes périodes des scénarios.

Les données utilisées dans la simulation sont issues de la simulation réalisée par le modèle ARPEGE-Climat sur les scénarios futurs A2 et B2 (les seuls à avoir été utilisés pour les simulations climatiques dans le modèle ARPEGE-Climat).

2. Paramétrage et validation du modèle de culture STICS

Hadria (2006), montre que le modèle STICS fonctionnait globalement bien en milieu aride et semis aride, malgré les spécificités climatiques (pluies faibles et irrégulières, dynamique forte des températures, fort rayonnement d'origine solaire).

L'adaptation de ce modèle à la culture du blé concerne la détermination des différents paramètres décrivant la croissance, la structure et le développement de la plante. Le paramétrage de STICS pour une espèce donnée ne prend pas l'ensemble des paramètres du modèle, il dépend des choix des formalismes (Pindard, 2000).

2.1. Les options et les formalismes choisis

Le modèle prend en compte l'augmentation de la concentration de CO_2 et son impact sur la physiologie des plantes. Pour cela, il intègre deux formalismes :

Efficienc de conversion: elle est modifiée par sa teneur élevée dans l'atmosphère (Kimball, 1983 ; Kimball *et al.*, 1993).

Conductance stomatique: la teneur élevée de CO_2 génère une diminution de la conductance stomatique (Kimball *et al.*, 1993; Drake *et al.*, 1997). Idso (1991), a montré qu'il existe une proportionnalité entre l'effet du CO_2 sur l'efficacité de conversion et sur la conductance stomatique selon un rapport de 2.5 pour un ajout de 300 ppm à la concentration nominale.

La structure modulaire de STICS offre à l'utilisateur de ce modèle le choix entre plusieurs options de calcul. L'Annexe I, résume les principales options choisies pour notre simulation, le choix de ces options est en fonction du nombre de paramètres et au type des données nécessaires.

2.2. L'environnement du STICS

Le modèle STICS est interfacé avec 5 fichiers d'entrée (6 pour STICS-feuille). Le fichier **travail.usm** décrit la simulation en spécifiant le nom des fichiers d'entrée, les conditions initiales et la période de simulation. Les fichiers **stat.dat** et **NomEssai.lai (.obs)** donnent les variables de forçage au pas de temps choisi pour la simulation. Les fichiers **NomEssai.tec**, **param.sol**, **NomPlante.plt** et **param.par** précisent les paramètres liés à l'itinéraire technique, au sol, à la plante et les paramètres structuraux utiles à la simulation (fig. 20) (Brisson, 2002).

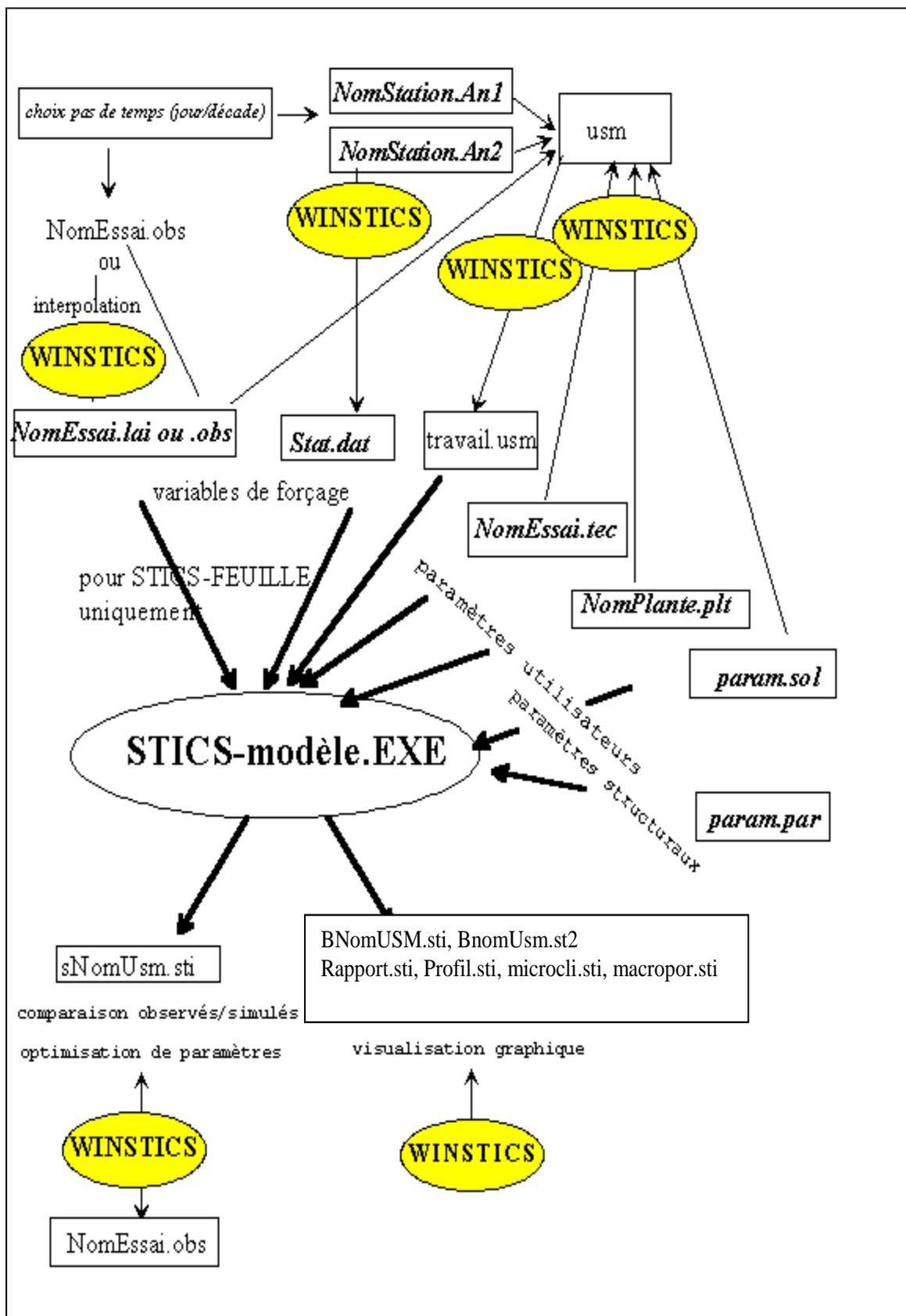


Figure 20: L'environnement de STICS (Brisson, 2002)

2.2.1. Notion d'USM

Une unité de simulation (USM) rassemble toutes les informations nécessaires pour faire une simulation : les caractéristiques du sol et son contenu initial en eau et en azote, les caractéristiques éco-physiologiques et agronomiques de la culture, l'itinéraire technique réalisé sur la culture et le sol pendant le cycle cultural, les conditions climatiques journalières pendant la période de simulation et naturellement les dates de début et de fin de simulation définies par l'utilisateur du modèle. Dans la pratique, un fichier USM inclut les noms du fichier sol (*.SOL), du fichier plante (*.PLT), des fichiers climatiques (*.STAT.DAT), un fichier climatique par année calendaire et un fichier technique (*.TEC) (Brisson, 2002).

2.2. 2. Le matériel végétal

L'étude a été réalisée sur une culture de blé dur, variété Chen's. C'est une variété à cycle végétatif précoce. Selon CCLS (2015), c'est la variété la plus utilisée durant les dernières années pour les agriculteurs de la région (distribution 65 %). Elle est cultivée entre mi-novembre et mi-décembre, son rendement optimal en grain est de 35 à 40 qx/ha. Elle est moyennement tolérante à la sécheresse.

2.3. Les variables de forçage

2.3.1. Forçages climatiques

Les variables climatiques indispensables à l'exécution du modèle sont : le rayonnement solaire global journalier, les températures minimales et maximales journalières et le cumul journalier des précipitations. L'évapotranspiration potentielle peut être utilisée comme une entrée du modèle si elle est disponible. Dans le cas contraire, elle peut être calculée selon l'une des méthodes proposées par STICS: la méthode de Priestly et Taylor (1972), de (Panman, 1948) et celle résistive de schuttlowath-Wallace (Schuttlowath et Wallace, 1985 ; Brisson *et al.*, 1998). Deux noms du fichier climatique sont nécessaires dans le cas des cultures d'hiver.

2.3.2. Paramètres liés au sol

Le type de sol le plus dominant de la région d'Ain Defla est limono-argileux (ITGC, 2008). Les données qui décrivent les paramètres physiques et chimiques de ce type de sol proviennent d'une étude réalisée par ITGC Khemis Miliana, où les données sont liées à la quantité d'argile, la teneur en azote total, le CaCO₃, la densité apparente et le pH (tab. 03). Par

ailleurs, l'humidité à la capacité au champ, le point de flétrissement et l'albédo du sol sont donnés par le référentiel du logiciel du STICS (Brisson, 2002).

2.3.3. Paramètres liés à la plante

Les caractéristiques des espèces et des variétés sont décrites dans un fichier plante (*.PLT). Les paramètres contenus dans ce fichier (tab. 01) sont relatifs aux fonctions physiologiques suivantes : levée (levé), accélération maximum foliaire (amf), indice foliaire maximum (lax), sénescence des feuilles (sen), floraison (flo), début de remplissage du grain (drg), maturité (mat) et récolte (rec) (Annexe.II-1). Les dates de ces stades phénologiques sont données en entrée du modèle et en se basant sur les sommes des températures entre deux stades successifs. Nous avons forcé le modèle pour déterminer sa capacité à simuler la croissance et le rendement de la plante en fonction des dates réellement observées (Annexe. II-2) .Ces dates sont collectées auprès de la direction des services agricoles, de la chambre d'agriculture et du CCLS de la wilaya d'Ain defla

2.3.4. Itinéraires techniques

On entend par itinéraire technique la succession des opérations agricoles menées pendant la conduite de la culture. Les renseignements sur les itinéraires techniques culturaux ont été obtenus à partir des enquêtes terrains, des références techniques fournies par la chambre d'Agriculture, et la DSA d'Ain defla ainsi que par des fiches techniques concernant la culture des céréales fournies par l'ITGC de Khemis Miliana. Ces itinéraires techniques (structure de base) sont souvent utilisés par les agriculteurs de la région.

Cette structure de base comprend :

- Le labour d'automne au mois de septembre ; utilisation d'un cultivateur de 25-30 Cm de profondeur ;
- Reprise du labour ; utilisation de cultivateur
- Epannage de la fumure azotée ; utilisation de 1,5 qx/ha de sulfate d'ammonium 21% ou 1 qx/ha d'urée 46 % ;
- Recroissance de façon superficielle ;
- Le semis est réalisé en mi-novembre, avec une densité de 270 plants par mètre carré et une profondeur de 3 à 5 cm.

- Deux apports d'azotes de 1 ql/ha l'un au stade tallage et l'autre au stade montaison. Notons que les apports d'engrais sont rarement utilisés par les agriculteurs à des raisons sécuritaires (DSA de Ain Defla). L'irrigation n'est pas prise en compte dans cette structure, afin de bien étudier l'effet de changement du climat sur le système sol -plante.

Rappelons que le modèle STICS ne simule pas l'interaction plante – bioagresseurs (parasites, maladies cryptogamiques, mauvaises herbes...), et ne prend pas en compte les traitements phytosanitaires. Il fait l'hypothèse que l'état sanitaire de la parcelle est suffisamment bon pour la croissance et le développement de la plante (Brisson et Delecolle.,2001).

2.4. Les fichiers de sorties

2.4.1. Les fichiers de bilan de simulation

Les Fichiers de bilan de simulation donnent les informations de base : les données d'entrées, les phases de développement de la culture, la croissance et les composantes du rendement, bilan eau et azote sur le cycle et sur toute la période de simulation.

➤ **Le fichier *b+nomUSM.sti***

Ce fichier donne le bilan de la simulation sous la forme de deux pages de texte. Les sorties sont explicites (exemple en annexe).

➤ **Le fichier *rapport.sti***

Ce fichier donne une synthèse de toutes les simulations sous la forme d'une ligne par simulation. Il s'incrémente d'une ligne par simulation.

2.4.2. Les fichiers dynamiques

Deux fichiers dynamiques qui permettent d'examiner dans le détail chronologique l'évolution des variables : l'un concerne les variables que l'on peut comparer à des données observées (ce n'est pas notre cas) et l'autre plus ouvert donne à l'utilisateur, le choix de 20 variables dans une liste qui en comprend 165.

2.4.3. Le fichier *profil.sti*

C'est un fichier permettant de récupérer l'une des variables sol au choix (humidité, température, azote, densité racinaire) par cm de sol, à des dates choisies.

2.4.4. Le fichier historique.sti

Il s'agit d'un fichier mouchard qui donne des informations sur la valeur des paramètres actifs de la simulation et les problèmes rencontrés lors de l'exécution.

Chapitre VI :

Résultats et discussion

Chapitre VI : Résultats et discussion

I. Résultats

Afin d'implémenter le model STICS, il faut que toutes les données climatiques générées par LARS-WG soient mises au format STICS, tout en gardant les mêmes fichiers d'entrées (fichier *.PLT, PARAM SOL et *.TEC) avec leurs variables de forçage.

1.1. Variations du rendement simulé selon les périodes de scénario A2

Les résultats de simulation du rendement de blé dur par le modèle STICS durant les quarts périodes du scénario A2 montrent qu'il ya une fluctuation du rendement en fonction des années, ce rendement est relativement varié entre un minimal qui serait enregistré durant l'année 2022/2023 avec un taux de 32 Qx/ha et un maximal durant l'année 2024/2025 avec 25,5 Qx/ha. (Fig 21)

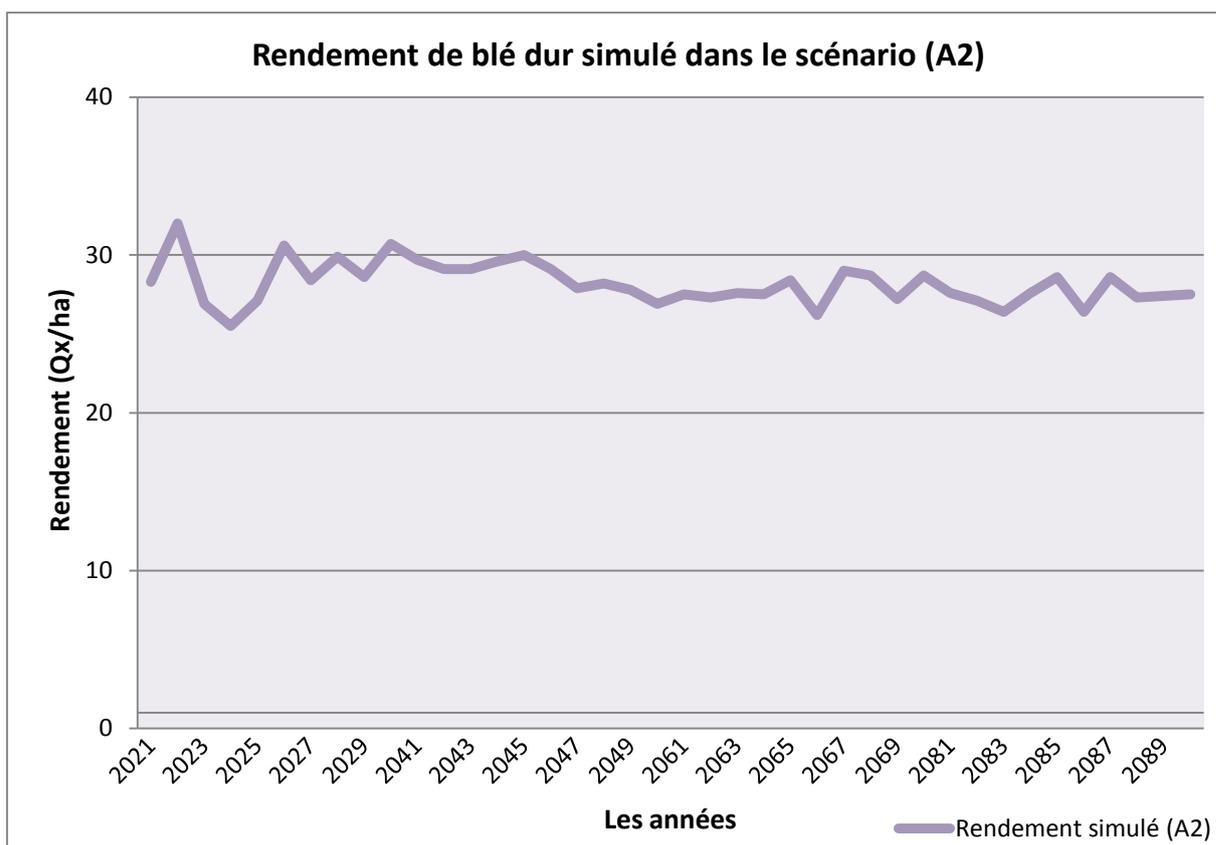


Figure 21 : Variations du rendement simulé selon les périodes du scénario A2

1.2. Variations du rendement simulé selon les périodes de scénario B2

Les valeurs du rendement simulé dans le scénario B2 caractérisent par une faible variation, dont la valeur maximale du rendement est de l'ordre de 30,1 Qx/ha dans l'année 2041/2042, tandis que la valeur minimale est de 24,7 Qx/ha durant l'année 2022/2023. (Figure 22)

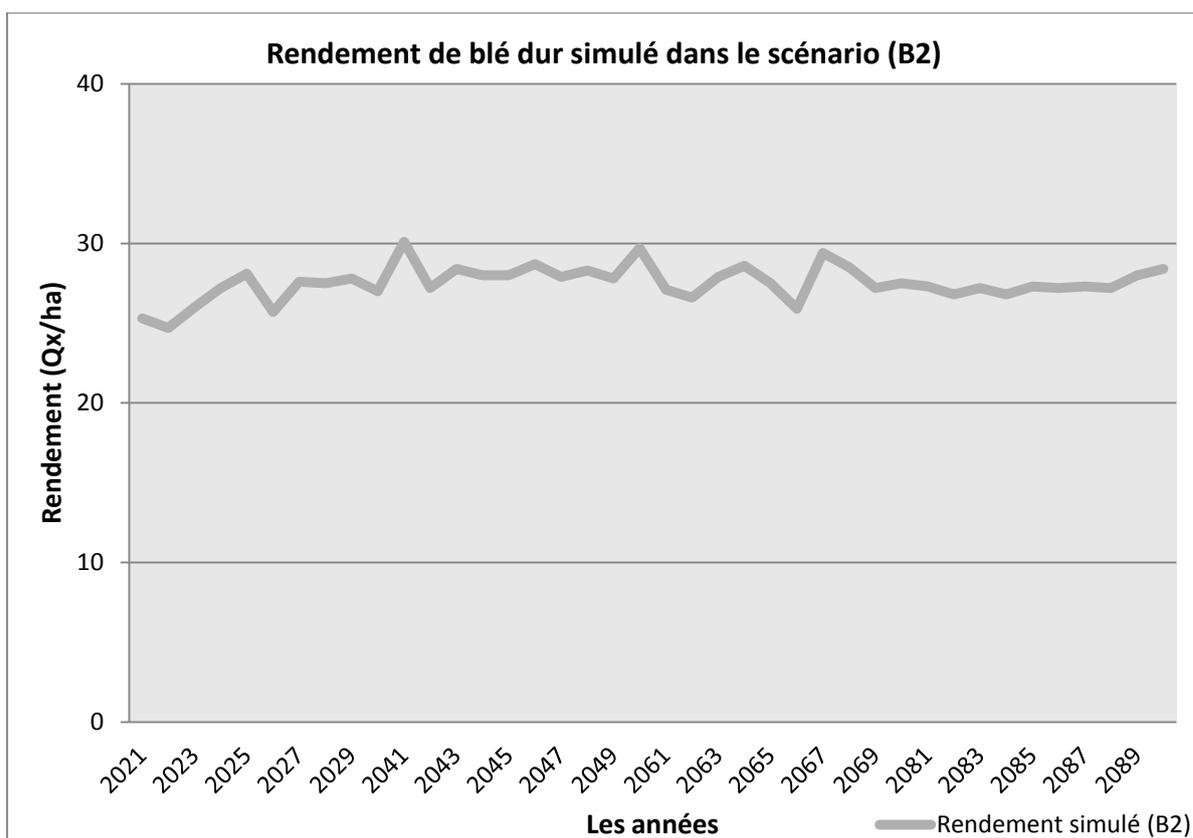


Figure 22 : Variations du rendement simulé selon les périodes de scénario B2

1.3. Comparaison entre le rendement des différents scénarios

Pour connaître l'évolution du rendement simulé dans les deux scénarios A2 et B2, nous avons utilisé la droite de régression en ajoutant la courbe de tendance, cette méthode représente mieux la distribution du rendement simulé (Rd) par rapport au temps (t), depuis la première période jusqu'à la dernière période. La figure suivante indique que le rendement dans le scénario A2 diminuerait depuis la première jusqu'à la quatrième période par contre à celui du scénario B2, apparaît presque constant durant toutes les périodes, mais il reste toujours faible par rapport au rendement du scénario A2. (Figure 23)

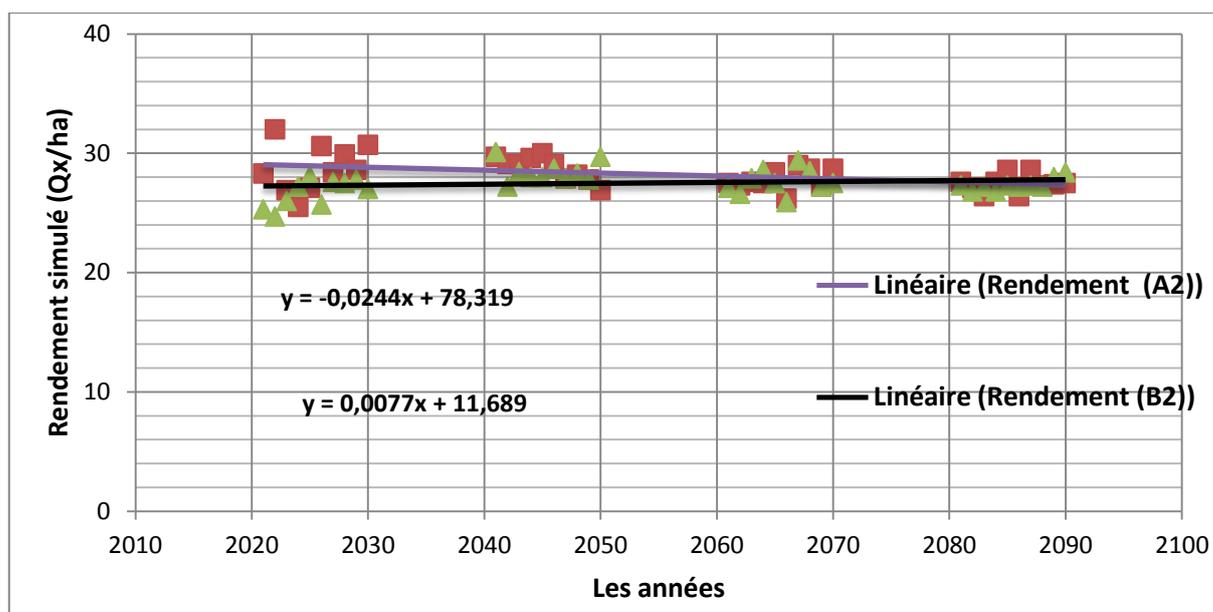


Figure 23 : Comparaison entre le rendement simulé des deux scénarios A2 et B2

Pour le scénario (A2) ; $Rd = -0,0244 t + 78,319$.

L'équation de la droite de régression montre qu'il y a une relation linéaire entre le rendement et le temps, avec une diminution du rendement dans le temps.

Pour le scénario (B2) $Rd = 0,0077 t + 11,689$.

Cette équation caractérise par un nuage de points horizontal avec une fluctuation presque constante par rapport au temps, cela veut dire que le rendement du scénario B2 resterait constant avec le temps.

1.4. Comparaison entre le rendement simulé et observé dans les différentes périodes des scénarios A2 et B2

Nous avons comparé le rendement simulé de chaque période du scénario A2 et B2 par rapport au rendement observé au niveau de la wilaya d'Ain defla durant la décennie du 2005 à 2014, ce rendement observé a été obtenu auprès de la direction d'agriculture de la wilaya concernée. Pour cette raison nous avons pris en considération la comparaison entre la moyenne du rendement simulé des quatre périodes des deux scénarios (2021-2030, 2041-2050, 2061-2070, et 2081-2090) et la moyenne du rendement observé durant la période 2005 à 2014.

1.4.1. La comparaison pour la première période (2021-2030)

Les résultats moyens, illustrés sur la figure ci-dessous montrent que la moyenne du rendement des deux scénarios est augmentée par rapport à celle de l'observé, dont elle pourrait atteindre une valeur de 28.8 qx/ha pour le scénario A2 et de 26.7 qx/ha pour le scénario B2, tandis que pour la moyenne du rendement observé ne dépasse pas les 20qx/ha.

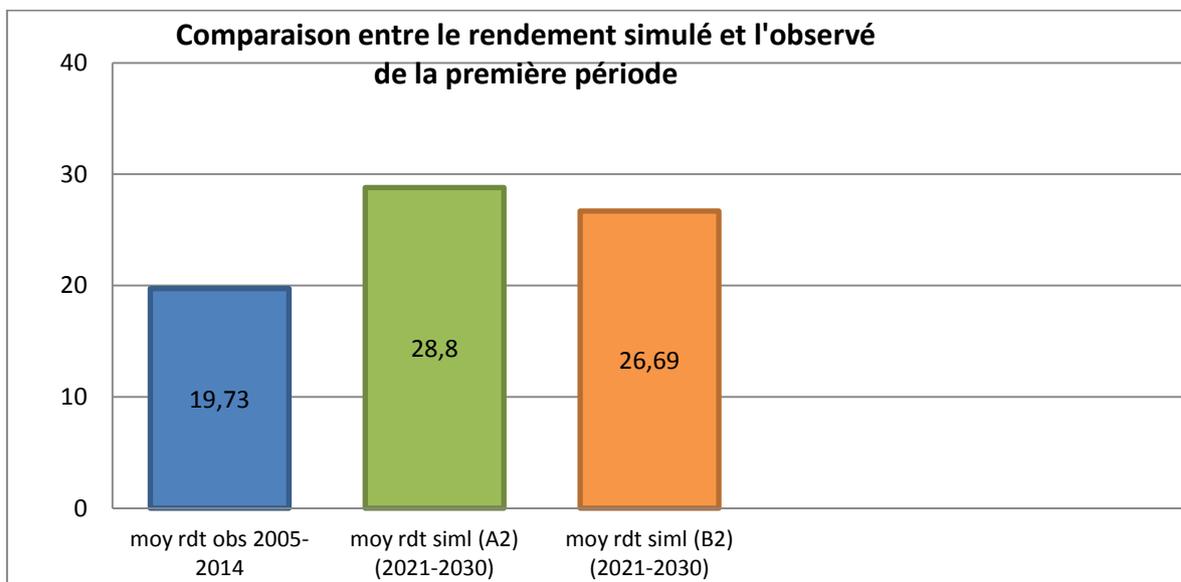


Figure 24 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la première période (2021-2030). (moy rdt obs : moyen du rendement observé, moy rdt siml : moyenne du rendement simulé)

Cette augmentation du rendement pourrait atteindre 46 % d'environ dans le scénario A2, et de 35,27 % dans le scénario B2.

1.4.2. La comparaison de la deuxième période (2041-2050)

Selon la figure 24 on remarque qu'il n'y a pas une différence dans la moyenne du rendement simulé des deux scénarios A2 et B2 (28.74qx/ha pour A2 et de et de 28.41 qx/ha pour B2), mais ce rendement reste toujours supérieur au rendement observé durant la période 2005 à 2014. Soit une augmentation de 45,6 % dans le scénario A2 et de 44 % dans le scénario B2.

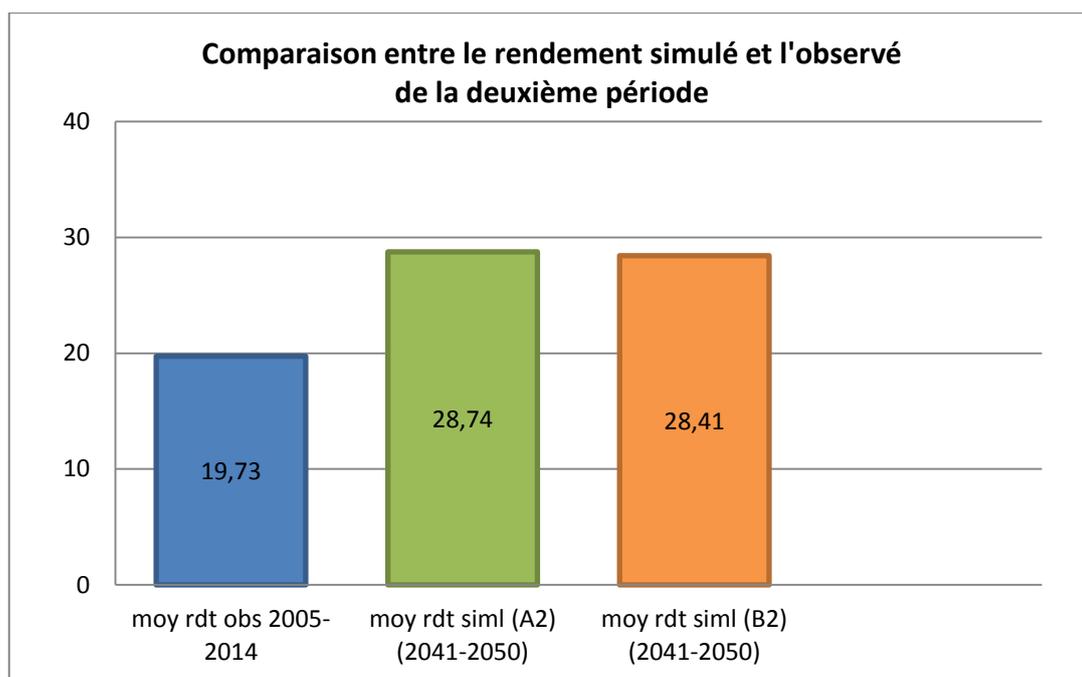


Figure 25 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la deuxième période (2041-2050)

1.4.3. La comparaison de la troisième et la quatrième période (2061-2070) et (2081-2090)

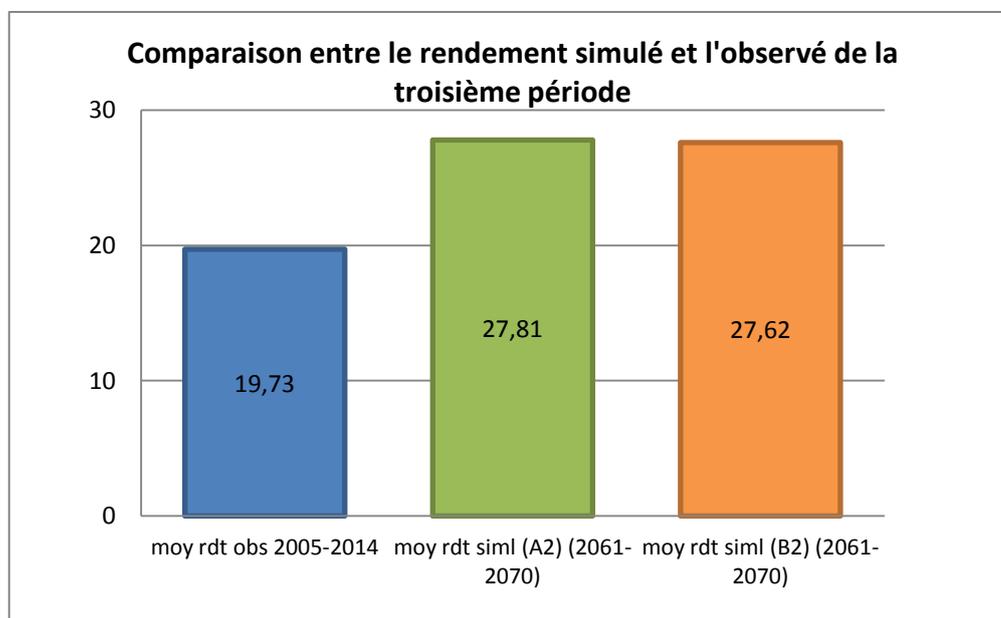


Figure 26 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la troisième période (2061-2070)

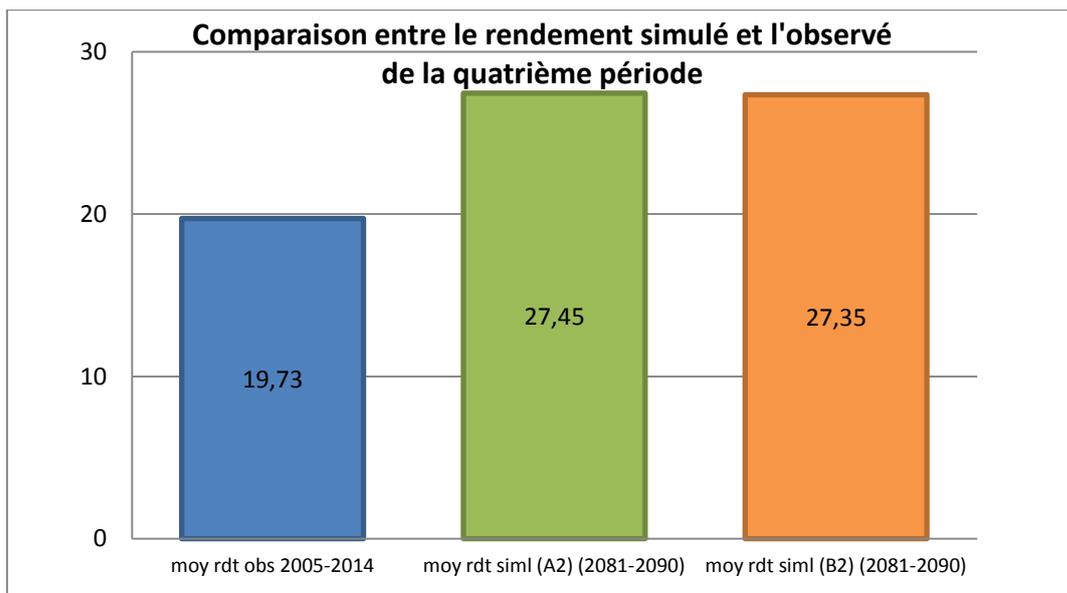


Figure 27 : la comparaison entre le rendement simulé et l'observé de la quatrième période (2081-2090)

Dans cette comparaison nous avons pris les deux dernières périodes à la fois, par ce qu'on constate une très faible différence dans la moyenne du rendement simulé des deux scénarios A2 et B2 par rapport a la moyenne du rendement observé, dont cette valeur comprise entre 27,35 et 27,81qx/ha (figure 25 et 26), alors que le rendement observé reste toujours très faible par rapport au rendement simulé avec une valeur de 19,73qx/ha.

Le pourcentage d'augmentation du rendement simulé pour le scénario A2 est de l'ordre 41% dans la troisième période et de 39% dans la quatrième période, tandis que, pour le scénario B2 on enregistre une augmentation de 40% de rendement dans la troisième période et de 38,6% dans la quatrième période.

II. Discussion des résultats

Les sorties du model STICS prévoient une augmentation de rendement du blé dur dans la wilaya d'Ain Defla dans le futur par rapport à l'état actuel. Cette augmentation pourrait être due aux conditions favorables dans le futur, où la production de la biomasse végétative pourra augmenter (biomasse aérienne max = 48,5 qx/ha) suite à l'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère (650-800 ppm pour A2 et 500-650 ppm pour B2 (GIEC, 2001)).

Cette amélioration du rendement sera plus ou moins accentuée dans les périodes du scénario A2 que le scénario B2. La période 2021 à 2030 apparaît comme la meilleure période dont le rendement atteint une moyenne de rendement de 28,8 qx/ha pour le scénario A2 et de 26,7 pour le scénario B2.

L'étude de la droite de régression et la courbe de tendance des deux scénarios estiment que le scénario A2 aura une tendance à la baisse avec le temps depuis 2020 jusqu'au 2090 alors que à celle du scénario B2 caractérise par une tendance presque stable durant toutes les périodes de ce scénario (figure 22). Cette tendance pourrait être expliquée par la teneur du CO₂ dans l'atmosphère qui pourrait être augmenté à la fin de ce siècle suite à l'utilisation de l'énergie fossile ainsi que le développement économique et démographique (GIEC, 2007).

L'augmentation du rendement dans le futur pourra être due à l'augmentation de la biomasse aérienne récoltée avec une amélioration de l'efficacité de conversion du rayonnement intercepté en biomasse (Seguin *et al.*, 2005).

Avec l'hypothèse d'un doublement de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère pour la fin du 21^{me} siècle (IPCC, 2007), cette hausse aura un effet bénéfique sur le couvert végétal en favorisant l'activité photosynthétique des plantes. D'après Seguin (2007), les résultats montrent une simulation de la photosynthèse de l'ordre de 20% à 30% conduisant à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 10% à 20% en fonction du type de métabolisme photosynthétique. Bien que cette augmentation de la concentration du CO₂ sera combinée à d'autres facteurs comme la conductance stomatique (avec une réduction moyenne de 20% pour un doublement de la concentration actuelle de CO₂ (IPCC, 2007)) et la limitation de la transpiration qui conduit à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. La combinaison de tous ces facteurs conduira à une augmentation significative de la production potentielle de la biomasse (Cornic, 2007).

Garcia (2006) montre qu'une teneur élevée en CO₂ combiné à une température très élevée peut avoir des effets sur la phénologie des cultures. Les simulations du modèle montrent que

le changement climatique provoquerait un avancement des dates de tous les stades phénologiques suivis par un raccourcissement du cycle de 19.6 % par rapport aux dates observées. Ceci est conforme aux prédictions faites par Rousset et Arrus (2006) qui ont montré que le changement climatique implique un décalage et une réduction des périodes de croissance pour la région du nord d'Afrique (en l'occurrence notre région d'étude).

Pour mieux illustrer la dynamique des scénarios A2 et B2 on expose dans le tableau suivant les prévisions des conditions climatiques future tels que la température ,la précipitation et la teneur du CO₂ dans l'atmosphère pour les deux scénarios A2 et B2 ,ce tableau a été fournit par le modèle de circulation générale ARPEGE-Climat (Déqué *et al.*, 1998, Gibelin et Déqué, 2003) développé pour l'étude des changements climatiques anthropiques et la prévision saisonnière dans le bassin méditerranéen.

Tableau 7 : Les données météorologiques issues du modèle de circulation générale (GCM) ARPEGE-Climat (Déqué *et al.*, 1998, Gibelin et Déqué, 2003)

Scénario	Concentration atmosphérique en CO ₂ ppm	Températures (°C)			Précipitations (%)		
		Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté
B2	500 à 600	2 à 2.5	1.5 à 2	2.5 à 3.5	-5 à 0	0 à +10	-25 à -5
A2	650 à 800	3 à 3.5	2.5 à 3	4 à 5	-10 à 0	+5 à +20	-35 à -20

Le tableau représente l'évolution de certains paramètres selon les deux scénarios (A2) et (B2), les prévisions de ce modèle montrent une augmentation de la température moyenne annuelle, suite à une augmentation de la pluviométrie en hiver et une diminution en été (plus accentuées dans le scénario A2).

Ces prévisions nous à permet de raccorder les résultats obtenus par la simulation du model STICS avec les conditions climatiques future tels que la concentration du teneur de CO₂, les valeurs de la température et de la précipitation. (voir les annexes III-1 et III-2)

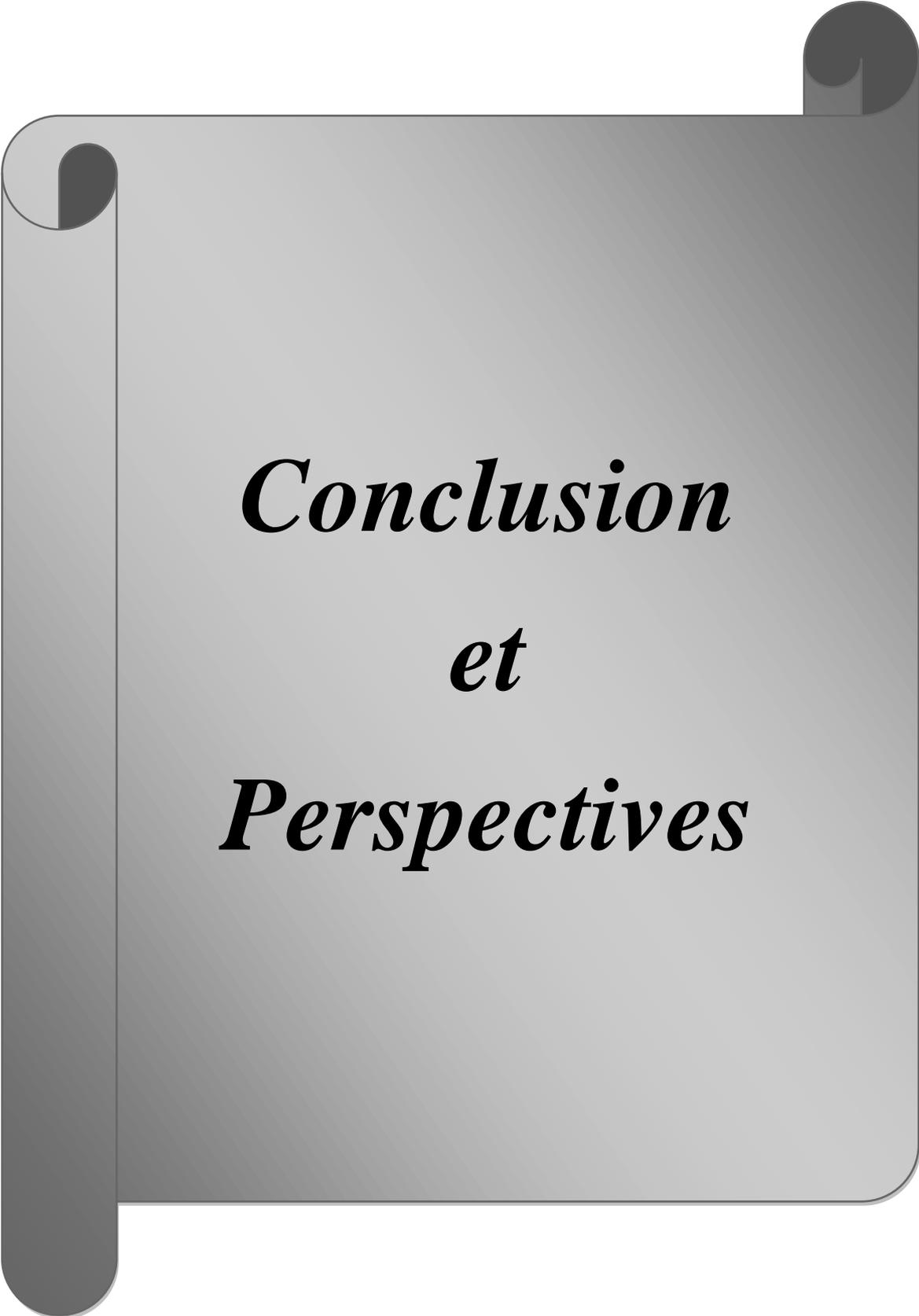
L'optimum thermique pour la photosynthèse chez le blé se situe entre 16 et 24 °C, au-delà de ces seuils la photosynthèse sera réduite. En effet, les températures élevées dans le scénario A2 peuvent perturberais les capacités photosynthétiques de la plante.

Une autre source de différence du rendement simulé dans les deux scénarios embusqué dans les variations des différentes composantes de la production, en particulier, la biomasse aérienne calculé dans les deux scénarios, d'où cette biomasse dans le scénario A2 est supérieur à celle de scénario B2. Par exemple, dans l'année 2050, la biomasse aérienne serait

égale à 4,84 t/ha pour (A2), et 4,32 t/ha pour (B2), et dans l'année 2090, la biomasse aérienne serait égale 4,8 t/ha pour (A2), et 4,34 t/ha pour (B2), cette biomasse aérienne implique l'efficacité de conversion du rayonnement intercepté.

De plus, la vitesse de croissance des plantes ne serait pas équivalente, dont, elle serait comprise entre 4,4 à 5 mg/m²/jour dans le scénario (A2), et de 4 à 4,5 mg/m²/jour dans le scénario (B2). donc l'accélération de la croissance et le raccourcissement du cycle phénologique dans le future conduiraient à éviter la température élevée dans la fin de ce siècle.

Malgré ces conditions climatiques futures le rendement du blé dur n'atteint pas son optimum qui est autour de 50 qx/ha dans notre région d'étude avec la variété chen's (le rendement potentiel de cette variété selon la direction d'agriculture d'Ain Defla), cet effet pourrait être due à l'augmentation de la température qui aura des effets différents en fonction de leur interaction avec d'autres paramètres climatiques (concentration du CO₂, pluies), cette augmentation peut favoriser la plupart des processus physiologique, mais cet effet sera accompagné par des impacts négatifs sur les cultures en accélérant leur rythme de développement et donc le déplacement et le raccourcissement des principaux stades phénologiques et la durée de fonctionnement, cela qui explique la réduction de rendement au futur lointin. Robert (2002), montre que la teneur élevée en CO₂ dans l'atmosphère durant la fin du siècle aura un impact direct sur la qualité, et la fertilité des sols agricoles, qui pourrait être un signe d'inadaptation de plantes cultivées sous enrichissement en CO₂.



Conclusion
et
Perspectives

Conclusion et Perspectives

Conclusion et perspectives :

Cette étude vise à évaluer l'impact du changement climatique sur le rendement de blé dur dans la wilaya d'Ain Defla. Pour ce faire, on a utilisé des résultats de simulation du modèle de culture STICS (Simulateur multidisciplinaire pour des Cultures Standards), qui est conçu comme un outil de simulation opérationnel en conditions agricoles. C'est un modèle générique dont l'objectif principal est de simuler les effets liés au climat, au sol et à la plante, sur la production et sur l'environnement, afin d'évaluer l'impact du changement climatique sur le rendement de blé dur.

En effet, cette étude a permis de réaliser une approche des impacts possibles du changement climatique, à l'aide du modèle STICS, qui peut être forcé par des variables d'entrée provenant des scénarios climatiques ; ces derniers sont simulés par les modèles de circulation générale sur la région d'étude. Pour cette raison nous avons pris en compte deux scénarios A2 et B2 (les seuls à avoir été utilisés pour les simulations climatiques dans le modèle GCM) dont chacun est subdivisé en quatre périodes : 2021-2030, 2041-2050, 2061-2070 et de 2081-2090.

Les résultats de la simulation de l'impact des projections des changements climatiques, par le modèle STICS, à l'horizon de 2090, montrent un effet positif sur le rendement de blé dur, dont il pourrait atteindre une augmentation de moyenne de 43 % pour le scénario A2, alors que celui du scénario B2 serait autour de 39,5 % en moyenne par rapport au rendement observé. Cette augmentation est répartie selon des différentes périodes de chaque scénario comme suit ; 46 % pour le scénario A2 et de 35,27 % pour le scénario B2 dans la première période (2021-2030), de 45,66 % pour A2 et de 40 % pour B2 dans la deuxième période (2041-2050), 39 % dans la troisième périodes (2061-2070) et de 41% dans la quatrième période (2081-2090) pour les deux scénarios. Cette amélioration du rendement sera plus ou moins accentuée dans les périodes du scénario A2 avec une tendance à la baisse, alors que pour le scénario B2 le rendement resterait presque constant dans le temps.

Les perspectives, limites et recommandation :

- Dans ce travail nous avons présenté le modèle STICS aux gestionnaires agricoles comme un outil d'aide à l'expérimentation. Ceci permettra à l'agriculteur de réfléchir sur ses pratiques agricoles, en tenant compte les interactions du système plante – sols - climat - pratiques culturales.

Conclusion et Perspectives

- L'étude d'impact du changement climatique sur le fonctionnement de la plante exige un très grand nombre de paramètres qui ne sont pas toujours facilement mesurables par l'expérimentation, ce qui limite le processus de simulation.
- De même, la détermination des variables d'entrées dans le modèle STICS et le manque de précision des valeurs des paramètres climatiques et le rôle mal connu des océans et des nuages (Dequé *et al.*, 2005) limitent l'interprétation des résultats de simulation et le fonctionnement de la culture à long terme.
- Les gestionnaires agricoles devront coordonner parcimonieusement le travail du sol et les apports d'eau et d'azote surtout à la fin du siècle pour optimiser le rendement sous les nouvelles conditions climatiques.

Références bibliographiques

- Abdelaziz Yahyaoui., 2008.** Vulnérabilité et Adaptation des Pays du Maghreb aux Changements Climatiques à partir des Communication Nationales. Workshop on Climate Change and Adaptation in the Maghreb (CCAM). Marrakech, Maroc, 26 et 27 novembre 2008.
- Abdelkader Djermoun., 2009.** Revue Nature et Technologie. La production céréalière en Algérie : les principales Caractéristiques, n° 01/Juin 2009. p 47.
- Affholder F., 2001.** Modélisation de culture et diagnostic agronomique régional. Mise au point d'une méthode d'application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central. Thesis INA P-G, Paris, pp 231.
- Amel belbachir-Bazi., 2008.** Vulnérabilité et adaptation de la biodiversité aux changements climatiques. Projet 00039149/GEF/PNUD. Algérie, 2008.
- Aoul MT., 2007.** Impacts des changements climatiques sur l'agriculture et les ressources en eau : stratégie d'adaptation et cadre de mise en oeuvre (Oran – Algérie). Conférence internationale « Solidarité Internationale pour une stratégie contre le changement climatique en Afrique et dans la région de la Méditerranée », 18–20 novembre, Tunis. Tunisie.
- Baldy C., 1984.** Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens Ed : *les Colloques*. Montpellier. Pp.195-198.
- Barbottin A., 2004.** Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des géotypes : Pertinence de l'utilisation d'Azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre, Thèse doctorat, *Institut Nationale Agronomique*. Paris-Grignon. Pp.115-220.
- Ben Mohamed A., 1998.** « La production de l'orge et la possibilité de développement en Algérie » Université de Ferhat Abasse. Sétif. Nov.1998.
- Bindi M. Moriondo M., 2005.** Impact of a 2°C global temperature rise on the Mediterranean region: Agriculture analysis assessment. (In : C. Giannakopoulos, M, Bindi,) Cinquième colloque international : Énergie, Changements Climatiques et Développement Durable, Hammamet (Tunisie), 15-17 Juin 2005.
- Bouazza Z. Jalil M. Charfi R. et Zerouali A., 2002.** Vulnérabilité et adaptation du secteur irrigué au Maroc aux impacts des changement climatiques, Des Travaux Publics, Casablanca, Maroc Département de l'Environnement; MATHUE, Rabat, Maroc. *Conférence Internationale Organisée à Agadir par l' ANAFID*. Pp.1-13.

- Bouzerzour H. et Oudina M., 1989.** Association de certains caractères morphologiques au rendement grain chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en conditions semi-arides. *Ann. Inst. Nat. Agron. El Harrach*, 13(1) : p 157-167.
- Boyeldieu J.,1993.** Blé tendre, techniques agricoles p20-26.
- Brisson N., 2002.** Le cadre conceptuel des modèles de culture. Note Présentée par Michel-Claude GIRARD, correspondant de l'académie, section 7. Unité Climat, Sol et Environnement. INRA -Avignon .E-mail : brisson@avignon.inra.fr. Pp.1-6.
- Brisson N. Bonhomme R. Ameglio T. Gautier H. Oliosio A. et Drouet J L., 1997.** Modèle de culture : simulations sous contraintes à partir d'un potentiel de production. *INRA, Département de Bioclimatologie, Service de Formation Permanente, Tome 2: du couvert végétal à la petite région agricole. Écoles chercheuses INRA en bioclimatologie.* Pp.39 -52.
- Brisson N. Gary C. Justes E. Roche R. Mary B. Ripoche D. Zimmer D. Sierra J. Bertuzzi P. Burger P. Bussière F. Cabidoche Y M. Cellier P. Debaeke P. Gaudillère J.P. Maraux F. Seguin B. Sinoquet H., 2003.** An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy.* 18:309-332.
- Brisson N. Mary B. Ripoche D. Jeuffroy M.H. Ruget F. Nicoullaud B. Gate P. Devienne-Baret F. Antonioletti R. Durr C. Richard G. Beaudoin N. Recous S. Tayot X. Plenet D. Cellier P. Machet J M. Meynard J.M. Delecolle R., 1998.** STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie.* 18:311-346.
- Brisson N. et Delecolle R., 2001.** Développement et modèles de simulation de culture. *Agronomie 12.* Pp.253-263.
- Christian R., 2005.** Contribution à la climatologie du Luxembourg Analyses historiques, scénarios futurs. Luxembourg, *Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle Luxembourg, Ferrantia.* 43. Pp.12-24.
- Clement M., 1971.** Les céréales ED : collection d'enseignement agricole, édition Baillere, France, p 80, 85.
- Cornic G., 2007.** Effets, à court et à long terme, du CO₂ sur la photosynthèse.
- Couvreur., 1985.** formation du rendement du blé dur et risques climatique, perspective agricoles p 95, Blida.
- DaMatta F. Grandis A. Arenque B. et Buckeridge M., 2009.** Impacts of climate changes on crop physiology and food quality.
- Deniaux P.h., 2000.** Les scénarios d'émission, Les enjeux de l'environnement .Outils et ressources. Pp.1-4.

- Déqué M., Marquet P., Jones R.G., 1998.** Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Climate Dyn.* 14:173-189.
- Drake B.G., González-Meler M.A., Long S.P., 1997.** More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 48:609-639.
- Enright W., 2001.** Changement d'habitudes, changement climatique : Analyse de base Environnement. INRA -Avignon .E-mail : brisson@avignon.inra.fr. Pp.1-6.
- FAO, 2014.** Rapport données et bilans, juillet 2014.
- Feuillet P., 2000.** Le grain du blé, composition et utilisation, édition : INRA, Paris, p 308.
- Gamboa E., 2005.** Etude de la méthodologie pour l'utilisation de données climatiques simulées futures dans le cadre d'une étude d'adaptation de la vigne au changement climatique. *Rapport interne.* 44pp.
- Garcia de Cortázar Atauri I. Brisson N. et Seguin B., 2004.** Estimation de l'impact du changement climatique sur les résultats agronomique de la vigne avec le modèle STICS. *Actes Mondiali, ITV ed.* France. Pp.12-15.
- Gate P., 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 419 p.
- Gibelin A.L., Déqué M., 2003.** Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dyn.* 20(4):327-339.
- GIEC, 2001.** Les changements climatiques et la biodiversité : Document technique de GIEC.
- GIEC, 2007.** (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, 2007. Rapport d'évaluation du GIEC sur le changement climatique. GIEC, Genève, Suisse.
- Gonzalez-Camacho J. M., 2002.** Impacts attendus du changement climatique sur la demande en eau et la production agricole dans la basse vallée de la Drôme. Rapport du projet GICC "Gestion des impacts du changement climatique dans le Bassin Versant du Rhône, 59 p.
- González-Camacho. Juan M. Jean Claude M. Ruget F., 2005.** L'évolution attendue du déficit en eau estivale dans la vallée de la drome et conséquences sur l'agriculture irriguée.
- Hadria R., 2006.** Adaptation et spatialisation du model STICS pour la gestion d'un périmètre irrigué en milieu semis aride .Thèse Doctorat. .Université Cadiayyad .Faculté des sciences Semalalia-Marakeche. Pp. 6-23.
- Hakima Lakhdari et Atman Ayad., 2009.** Les conséquences du changement climatique sur le Développement de l'agriculture en Algérie : Quelles stratégies D'adaptation face à la rareté de l'eau ?, Cinquième colloque international : Énergie, Changements Climatiques et Développement Durable, Hammamet (Tunisie), 15-17 Juin 2009.

lakhdari13@yahoo.fr ; ayad_alg@yahoo.fr

Hanks R.J. Klute A. et Bresler E., 1969. A numeric method for estimating infiltration, redistribution drainage and evaporation of water from soil. *Water Resour. Res.* 5(5). Pp. 1064-1069.

Idso S.B., 1991. A general relationship between CO₂-induced increases in net photosynthesis and concomitant reductions in stomatal conductance. *Environmental and Experimental Botany.* 31:381-383.

IPCC, 2001. Special report on emission scenarios.

IPCC, 2007. Climate change 2007. (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/voir>)

ITGC, 2011. La culture intensive de blé, 3^{ème} édition actualisée, 2011.

Jussieux G., 1980. cours d'agriculture moderne, Ed : la maison rustique, Paris.

Kara K. M., 2008. La menace climatique en Algérie et en Afrique, Les inéluctables solutions. Pp.212-215.

Kimball B.A., 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal.* 75:779-788.

Kimball B.A. Mauney J.R. Nakayama F.S. Idso S.B., 1993. Effects of increasing atmospheric CO₂ on vegetation. *Vegetatio.* 104/105:65-75.

Levet Thomas., 2006. Impact des changements climatiques sur la production des prairies en France. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du titre ingénieur des techniques agricoles. Ecole nationale d'ingénieurs des travaux agricoles de Bordeaux, page 29-31.

Livre de Jean-Marc Jancovici et Hervé Le Treut., 1999. l'effet de serre, allons-nous changer le climat aux éditions « Champs , sciences ».

Marie-Pier Lepage. M.Sc Line Bourdages. M.Sc Gaétan Bourgeois., 2001. Interprétation des scénarios de changements climatiques afin d'améliorer la gestion des risques pour l'agriculture, Québec, Canada, 2011.

Morcrette J.J., 1994. Sur la paramétrisation du rayonnement dans les modèles de la circulation générale atmosphérique. Thèse de doctorat, Université des sciences et techniques de Lille, 373 p.

Moule C., 1980. céréales basées scientifique et technique de la production des principales espèces de grandes cultures en France, Ed maison rustique, Paris, p397.

Nathalie R., 2004. « Economie de l'adaptation au changement climatique et l'agriculture dans le bassin méditerranéenne » EPE-LEPII; René Arrus, LEPII-CNRS, juillet 2004. nathalie.rousset@upmf-grenoble.fr ; rene.arrus@upmf-grenoble.fr

OAIC, 2013 : rapport annuelle de L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

- Penman H. I., 1948.** Natural evaporation from open water, Bare soil, and Grass, roc. R. Soc. London, A193, 116-140.
- Philippe J., 2007.** Pratiques agricoles, gestion des ressources naturelles et changement climatique au Maghreb et en Afrique subsaharienne. Conférence internationale « Solidarité internationale pour une stratégie contre le changement climatique en Afrique et dans la région de la Méditerranée », 18–20 novembre, Tunis, Tunisie.
- Pindard A., 2000.** La relation stress hydrique – rendement du maïs - Utilisation d'un simulateur de culture (STICS). Mémoire d'Ingénieur d'Agronomie. Pp. 7-42.
- Polcher J., 2005.** Où et comment mesurer le changement climatique. Ecole National des Ponts et Chaussées Pp. 20-25
- Prats J. J.B. Bouiller et Fils., 1971.** Les céréales ED 2^{ème} édition, France, p 351.
- Priestley C.H.B. and R.J. Taylor., 1972.** On the assessment of surface heat flux and Evaporation Using Large Scale Parameters, Monthly Weather Review, 100: 81-92.
- R Delecolle. J.F Soussana. J.P Legros., 2000.** Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française. Pp.311-346.
- Rachedi M. F., 2003.** Les céréales en Algérie – Problématique et option de reforme I.T.G.C, La céréaliculture N°38. Pp. 32-38.
- Rousset N. et Arrus R., 2006.** Economie de l'adaptation au changement climatique et l'agriculture dans le bassin de méditerranéen. LEPII-CNRS. Pp.7-12.
- Seguin B., 2005 -** Changement climatique et effet de serre. Quelles conséquences pour l'agriculture et la forêt? *Séminaire de l'Ecole Doctorale RP2E-ENSIC*. Nancy, 15-01-2005. Pp.12-20.
- Seguin B. Brisson N. Loustou D. Dupoey J.L., 2005.** Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt. Dans « L'homme face au climat ». *Actes du symposium du Collège de France*. Paris. 177-203pp.
- Seguin, B. et Stengel, P., 2004.** Changement climatique et effet de serre, Rapport technique mensuel, INRA.
- Seguin, B., 2007.** Le réchauffement climatique : impact sur les agricultures européennes. p34
- Semenov M.A. R.J Brooks. E. M Barrow and C.W. Richardson., 1998.** Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*. Vol. 10 : 95-107.
- Semenov M.A. and E.M Barrow., 1997.** Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change* 35 : 397-414.

Semenov M.A. Brooks R.J., 1999. Spatial interpolation of the LARS-GW stochastic weather generator in Great Britain.

Soltner., 1998 : Les grandes productions végétales 16^{ème} édition collection : sciences et technique agricoles, p 109.

USDA, 2013: annual report of United States Department of Agriculture, Aout 2013.

Zaire, A., 1991. étude de l'influence du déficit hydrique sur le développement du blé en zone semi aride. Secheresse. Vol. 3, 167-174.

Annexes

I- Organisation de STICS et ces modules (fiche technique du modèle STICS)

Développement

Croissance aérienne

Elaboration du rendement

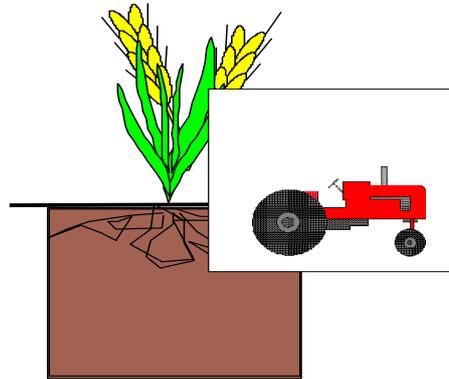
Interface techniques culturales-
culture-sol

Croissance racinaire

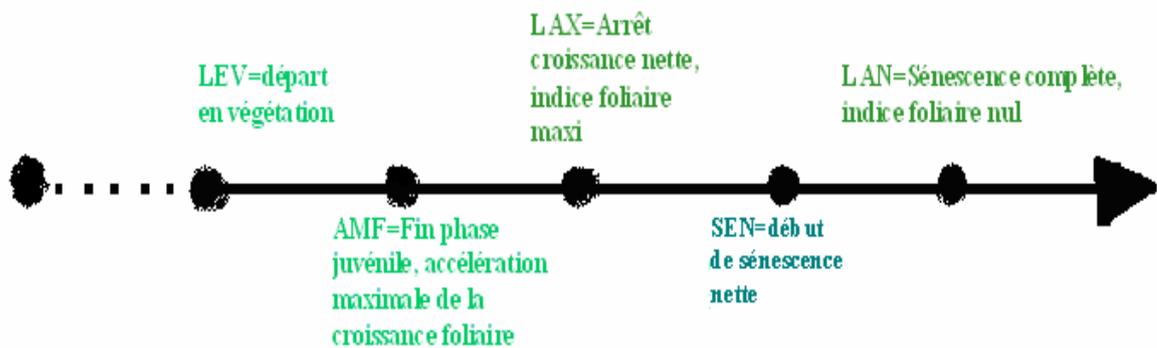
Bilan
hydrique

Bilan
azoté

Transferts eau, nitrates,
chaleur



II-1- Les stades de développement de la plante selon STICS (source INRA, 2002)



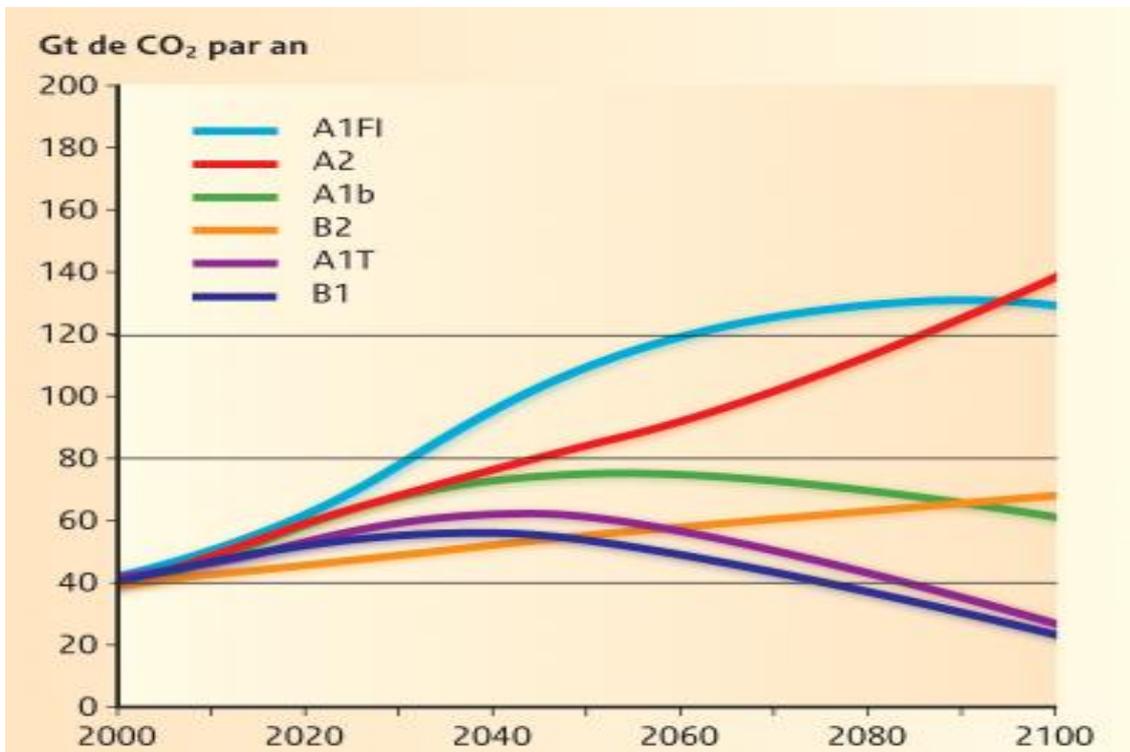
II-2- Présentation des dates observées des différents stades phénologiques du blé dur.

(Stade phénologique, Date, Jour julien)

Stade phénologique	Date	Jour julien
Semis	15/11	319
Levée -03 feuilles	07/12	341
Tallage	10/02	406
Montaison	09/03	433
Epiaison	29/03	453
floraison	10/04	465
Maturité	05/06	521
Récolte	08/06	524

Source (C.C.L.S, 2008)

III-1- Projection des émissions de CO₂ au XXI^{ème} siècle selon différents scénarios de GIEC (GIEC, 2007)



III-2- Projection des températures au XXI^{ème} siècle selon différents scénarios de GIEC (GIEC, 2007)

