

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA)

El-Harrach (Alger)

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences Agronomiques

Option : Hydraulique Agricole

Thème

**REGIONALISATION ET MODELISATION AGROCLIMATIQUE EN
CEREALICULTURE PLUVIALE. CAS DU NORD DE L'ALGERIE**

Par : Smadhi Dalila

Jury :

Président	: Aidaoui A.	Professeur	(ENSA)
Examineurs	: Benmoussa M.	Professeur	(USDB)
	: Mouhouche B.	Professeur	(ENSA)
Directeur de thèse	: Zella L.	Professeur	(USDB)

Année : 2011

Dédicaces

A mon père, tu restes pour moi le symbole d'une vie probe et généreuse. Que le repos éternel soit ton compagnon. Je te dédie ce document, avec ma profonde tendresse.

A ma mère, la douleur de ton départ est encore aussi intense qu'au premier jour. Ta douceur, ta bonté, ta générosité et ta joie de vivre, sont gravées dans mon cœur pour l'éternité. Tu seras toujours une inspiration et un exemple d'admiration. Tu m'as toujours encouragé à aller de l'avant pour une vie meilleure, je te dédie ce document, avec ma vénération profonde.

A mon mari qui m'a beaucoup aidé, encouragé et soutenu dans les moments les plus pénibles. Je te dédie ce document, avec toute ma reconnaissance et mon dévouement profond.

A ma famille qui a partagé avec moi, les moments les plus durs. Avec mon affection infinie.

Dalila.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement le Professeur L. Zella, Directeur de Thèse (USB) qui a assuré un encadrement d'une rare qualité scientifique. Ses précieux conseils, remarques et critiques pertinentes et constructives m'ont guidée tout au long de cette thèse. Je le remercie également, de la patience et de la confiance qu'il m'a accordée dans cette recherche.

Je suis très honorée que le Professeur A. Aidaoui (ENSA), ait accepté la présidence du jury, sans oublier le Professeur M. Benmoussa (USB) qui a accepté de participer au jury.

Je remercie particulièrement le Professeur B. Mouhouche (ENSA), qui a été à l'origine de ce thème et qui malgré les conditions difficiles de travail et la surcharge de son emploi du temps, a accepté de participer au jury

Je remercie M. Semiani M., Directeur du Laboratoire Bioclimatologie (INRAA) qui malgré les conditions difficiles de travail dans lesquelles nous évoluons, m'a encouragé à mener cette recherche à terme.

Je remercie M. Chabane A., du Laboratoire de Bioclimatologie (INRAA), de n'avoir épargné aucun effort pour mettre à ma disposition les moyens techniques disponibles à son niveau et de m'encourager à aller de l'avant.

Je remercie M. Feliachi K., ancien Directeur Général de l'INRAA, d'avoir utilisé de son autorité et de sa responsabilité auprès de l'OMN, afin d'acquiescer les données climatiques qui m'ont servi à cette recherche.

Je remercie M. Boucherf D., Directeur de Service Climatologie (OMN), de son accueil dans son service et d'avoir mis, à ma disposition les moyens nécessaires (données, logiciels) pour la réalisation du présent travail.

Je remercie vivement M. Halimi L. et M. Naimi C., Ingénieurs du Service Climatologie, qui m'ont apporté assistance au cours de la phase extraction des données et qui m'ont dispensé les connaissances de bases sur les logiciels de météorologies. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Je remercie enfin M. Bougaraa, Directeur du Département Climatologie, ANRH, qui a accepté de mettre à ma disposition les données pluviométriques.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction 1

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

I. Généralités	6
1. Historique	6
2. Biogéographie	7
3. Botanique	7
II. Adaptation phénologique	7
1. Climat	7
1.1. Pluviométrie	8
1.2. Température	8
1.3. Autres paramètres climatiques	9
1.3.1. Evapotranspiration potentielle	9
1.3.2. Besoins en eau	9
2. Agroclimatologie	10
3. Sol	10
3.1. Fertilisation	11
3.2. Pratique agricole	11
4. Variété	12
4.1. Précocité	13
4.2. Résistance aux maladies	14
4.3. Cycle de développement	14
4.3.1. Semis germination tallage	14
4.3.2. Montaison floraison maturation	15

5. Longueur de la période de croissance	15
6. Rendement	17
7. Amélioration du rendement	18
8. Changement climatique	19
III. Contraintes	19
1. Climat	19
1.1. Stress hydrique	20
1.2. Sécheresse	20
1.3. Indices de sécheresses	22
1.4. Stress thermique	24
2. Changement climatique	24
3. Irrigation	25
4. Sol	26
5. Pratiques agricoles	26
6. Socio-économie	27
IV. Evaluation agroclimatique	27
1. Modèle statistique	27
2. Modèle cartographique	28
Conclusion	31

Chapitre 2

Matériels et méthodes

I. Aire d'étude	33
1. Limite	33
2. Caractéristique	34
II. Céréaliculture pluviale	34
III. Sol	35
IV. Climat	35
1. Pluviométrie	35
1.1. Réseau de stations	35
1.2. Données	36

1.3. Pas de temps	36
1.4. Modélisation statistique	37
1.4.1. Reconstitution des données	37
1.4.2. Chaîne de Markov	38
1.4.3. Seuils pluviométriques	39
1.4.4. Indices de sécheresses	41
1.4.5. Date de semis	42
1.5. Modélisation cartographique : Régionalisation	43
2. Température	44
2.1. Modélisation statistique	44
3. Pluviométrie température	44
V. Agroclimatologie	45
1. Céréaliculture pluviométrie	45
2. Céréaliculture température	45
VI. Autres facteurs climatiques	45

Chapitre 3

Résultats et interprétations

Partie I. Céréaliculture

I. Céréaliculture pluviale	48
1. Superficie emblavée	48
1.1. Echelle temporelle	48
1.2. Echelle spatiale	49
1.3. Echelle spatio-temporelle	50
2. Production	51
2.1. Echelle temporelle	51
2.2. Echelle spatiale	52
2.3. Echelle spatio-temporelle	53
3. Rendement	53
3.1. Echelle temporelle	53
3.2. Echelle spatiale	54

3.3. Echelle spatio-temporelle	55
II. Blé dur blé tendre orge et avoine	56
1. Superficie emblavées	56
1.1. Echelle temporelle	56
1.2. Echelle spatiale	57
1.3. Echelle spatio-temporelle	58
2. Production	59
2.1. Production temporelle	59
2.2. Echelle spatiale	60
2.3. Echelle spatio-temporelle	61
3. Rendement	63
3.1. Echelle temporelle	63
3.2. Echelle spatiale	64
3.3. Echelle spatio-temporelle	65
III. Production consommation et importation	65
Conclusion	67

Partie II. Climat (pluviométrie, température)

I. Pluviométrie	70
1. Pluviométrie annuelle	70
1.1. Quantité pluviométrique	71
1.1.1. Description statistique	71
1.1.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	71
1.1.1.2. Seuil supérieur à 5 mm	74
1.1.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	74
1.1.2. Description cartographique : Régionalisation	74
1.1.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	74
1.1.2.2. Seuil supérieur à 5 mm	77
1.1.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	78
1.2. Nombre de jours pluvieux	79
1.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	79
1.2.2. Seuil supérieur à 5 mm	80
1.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	80

1.3. Cumul pluvieux annuel et nombre de jours pluvieux	81
1.4. Indices de sécheresses	81
1.4.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	81
1.4.2. Seuils supérieurs à 5, 10, 20 et 30 mm	83
Conclusion	84
2. Pluviométrie mensuelle	84
2.1. Quantité pluviométrique	84
2.1.1. Description statistique	85
2.1.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	85
2.1.1.2. Seuil supérieur à 5 mm	86
2.1.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	87
2.1.2 Description cartographique : Régionalisation	88
2.1.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	88
2.1.2.2. Seuil supérieur à 5 mm	90
2.1.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	92
2.2. Nombre de jours pluvieux et secs	96
2.2.1. Description statistique	96
2.2.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	96
2.2.1.2. Seuil supérieur à 5 mm	96
2.2.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	96
2.2.2. Description cartographique : Régionalisation	97
2.2.2.1. Seuils supérieurs à 0,1 et 5 mm	97
2.2.2.2. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30	97
2.3. Indices de sécheresses	99
2.3.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	99
2.3.2. Seuil supérieur à 5 mm	99
2.3.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	99
2.4. Probabilité d'occurrence des pluies	100
2.4.1. Seuil supérieur à 5 mm	100
2.4.2. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	101
Conclusion	102
3. Pluviométrie décadaire	102

3.1. Quantité pluviométrique	102
3.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	102
3.1.2. Seuil supérieur à 5 mm	102
3.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	103
3.2. Nombre de jours pluvieux	104
3.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm	104
3.2.2. Seuil supérieur à 5 mm	104
3.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	105
3.3. Probabilité d'occurrence des pluies	105
3.3.1. Seuil supérieur à 5 mm	105
3.3.2. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm	105
3.4. Probabilité de séquences sèches	106
3.5. Date de semis	108
Conclusion	109
II. Température	111
1. Température annuelle	111
1.1. Echelle temporelle	111
1.2. Echelle spatiale	112
1.3. Echelle spatio-temporelle	113
2. Température mensuelle	114
3. Température décadaire	116
III. Température - pluviométrie	118
Conclusion	119

Partie III. Agroclimatologie

I. Céréaliculture - pluviométrie	121
1. Production	121
1.1. Echelle temporelle	121
1.2. Echelle spatiale	122
1.3. Echelle spatio-temporelle	122

2. Rendement	123
2.1. Echelle temporelle	123
2.2. Echelle spatiale	124
2.3. Echelle spatio-temporelle	125
3. Production du blé dur blé tendre orge avoine	126
3.1. Echelle temporelle	126
3.2. Echelle spatiale	126
3.3. Echelle spatio-temporelle	128
4. Rendements de blé dur blé tendre orge et avoine	128
4.1. Echelle spatiale	128
4.2. Echelle spatio-temporelle	129
5. Production - rendement - pluie	130
6. Pluie et besoins en eau	131
II. Céréaliculture - température	132
1. Production	132
1.1. Echelle temporelle	132
1.2. Echelle spatiale	133
2. Rendement	134
2.1. Echelle temporelle	134
3. Production rendement du blé dur blé tendre orge avoine	134
3.1. Echelle temporelle, spatiale et spatio-temporelle	134
Conclusion	134
Conclusion générale	136
Références	139

Liste des abréviations

Hectare : ha

Quintal : q

Quintal par hectare : q/ha

Calorie: cal

Kilogramme: kg

Length of Growing Period: LGP

Nord Algérie : NA

Région Est : RE

Région Centre : RC

Région Ouest : RO

Blé dur : BD

Blé tendre : BT

Orge : OR

Avoine : AV

Superficie emblavée : S_e

Production : P_r

Rendements : R_d

Jours pluvieux : jp

Jours secs : js

Pluie annuelle moyenne (mm) : P_{Am}

Pluie mensuelle moyenne (mm) : P_{Mm}

Pluie décadaire moyenne (mm) : P_{Dm}

Seuils des pluies supérieures à 0,1 : $P_{\geq 0,1mm}$

Seuils des pluies supérieures à 5 : $P_{\geq 5mm}$

Seuils des pluies supérieures à 10 : $P_{\geq 10mm}$

Seuils des pluies supérieures à 20 : $P_{\geq 20mm}$

Seuils des pluies supérieures à 30 mm : $P_{\geq 30mm}$

Ecart: E_t

Probabilité de non dépassement : P_n

Temps de retour : Tr

Pluie mensuelle minimum : P_{Mn}

Pluie mensuelle maximum : P_{Mx}

Pluie décadaire minimum : P_{Dn}

Pluie décadaire maximum : P_{Dx}

Températures annuelle moyenne : T_{Am}

Température annuelle minimale : T_{An}

Températures annuelle maximale : T_{Ax}

Température annuelle cumulée : T_{Ac}

Température mensuelle moyenne : T_{Mm}

Température mensuelle minimale : T_{Mn}

Température mensuelle maximale : T_{Mx}

Température décadaire moyenne : T_{Dm}

Température décadaire minimale : T_{Dn}

Température décadaire maximale : T_{Dx}

Température décadaire moyenne cumulée : T_{Dmc}

Surfaces pluviométriques : SP

Septembre : S ; Octobre : O ; Novembre: N ; Décembre: D ; Janvier: J ; Février: F ; Mars :
M ; Avril : Av ; Mai : Ma ; Juin : J ; Juillet : Jt ; Aout : A

Hiver automne printemps été : HAPE

Ecart thermique : E_{th}

Température moyenne climatique de la saison : T_{ms}

Liste des tableaux

Tableau 1. Estimation des besoins mensuels en eau (mm).

Tableau 2. Synthèse des différentes variétés de céréales autorisées à la production.

Tableau 3. Rendements par pays producteur.

Tableau 4. Synthèse des travaux sur les changements climatiques et impacts sur l'agriculture

Tableau 5. Ruptures observées dans les séries des stations de la RE à la RO, sur la période de 71 ans (1936-2007).

Tableau 6. Classes pluviométriques (mm) caractéristiques des régions du NA et leurs probabilités de non dépassement (Pr, %), sur 71 ans.

Tableau 7. Dates de semis des céréales pluviales proposées par le modèle pluviométrique en référence aux dates fixées en entrée.

Liste des figures

- Figure 1.** Carte de la diffusion de la culture du blé (dates par rapport à aujourd'hui).
- Figure 2.** Durée de la période de croissance pour le climat de référence, 1961-1990.
- Figure 3.** Localisation géographique de l'aire d'étude. Le Nord de l'Algérie.
- Figure 4.** Superficies moyennes emblavées annuellement, sur la série de 71 ans (1936-2007).
- Figure 5.** Superficies emblavées dans les wilayas céréalières du Nord Algérie.
- Figure 6.** Evolution spatio-temporelle des superficies à l'échelle régionale.
- Figure 7.** Production céréalière sur une série d'années (1936-2007) par rapport à la moyenne générale.
- Figure 8.** Productions et superficies emblavées annuellement, dans les wilayas céréalières.
- Figure 9.** Production spatio-temporelle sur les 35 dernières années.
- Figure 10.** Rendements moyens enregistrés par phase en référence à la moyenne de la série (1936-2007).
- Figure 11.** Rendement moyen et production moyenne dans les wilayas céréalières.
- Figure 12.** Evolution des rendements moyens dans le temps et dans l'espace, à l'échelle régionale.
- Figure 13.** Superficies temporelles emblavées en blé dur, en blé tendre, en orge et en avoine sur la période (1973-2007).
- Figure 14.** Superficies emblavées en blé dur, en blé tendre, en orge et en avoine à l'échelle spatiale.
- Figure 15.** Superficies emblavées dans le temps et dans l'espace par culture (BD, BT, OR, AV) et par région par rapport aux emblavures totales.
- Figure 16.** Production céréalière par spéculation (BD, BT, OR, AV) et par phase, (1973-2007).
- Figure 17.** Production spatiale par culture (BD, BT, OR, AV) à l'échelle régionale.
- Figure 18.** Production céréalière dans le temps et dans l'espace par spéculation (BD, BT, OR, AV).
- Figure 19.** Rendements céréalière par culture (BD, BT, OR, AV) et par phase, période (1973-2007).
- Figure 20.** Rendement spatial par culture (BD, BT, OR, AV) et par région (RE, RC, RO).
- Figure 21.** Rendement céréalière dans le temps et dans l'espace par culture (BD, BT, OR, AV) et par région (RE, RC, RO) par rapport aux totaux de rendements du NA.

Figure 22. Evolution de la consommation en rapport avec l'effectif de la population et la production céréalière, période (1969-2007).

Figure 23. Fluctuation des coefficients de corrélations en fonction de l'unité de temps, cas de la série de la station de Batna

Figure 24. Tendence évolutive de la pluviométrie annuelle du NA, période (1936-2007).

Figure 25. Pluviométrie moyenne, maximum et minimum des wilayas céréalières.

Figure 26. Pluviométrie spatio-temporelle du NA, période (1936-2007).

Figure 27. Carte de régionalisation de la pluviométrie annuelle, (1936-2007).

Figure 28. Evolution des SAU moyennes (ha) et celles des céréales (ha) par surface pluviométrique (ha).

Figure 29. Cartes de la régionalisation des pluies à différents seuils pluviométriques.

Figure 30. Cartes d'évolution du nombre de jours pluvieux à différents seuils pluviométriques.

Figure 31. Relation entre le nombre de jours pluvieux et les quantités de pluies supérieures à 5 mm à l'échelle régionale.

Figure 32. Ecart des pluies supérieures à 5, 10, 20 et 30 mm en référence au seuil de 0,1 mm.

Figure 33. Fluctuation des pluies mensuelles supérieures à 0,1 mm à l'échelle régionale en comparaison à la moyenne générale, sur 71 ans.

Figure 34. Répartitions mensuelles moyennes à différents seuils pluviométriques, de la RE à la RO.

Figure 35. Cartes de régionalisation des pluies supérieures à 0,1 mm de septembre à mai.

Figure 35 (a). Cartes d'évolution des pluies supérieures à 5 mm, de septembre à mai.

Figure 35 (b). Cartes d'évolution des pluies mensuelles supérieures à 10 mm

Figure 35 (c). Cartes d'évolution des pluies mensuelles supérieures à 20 mm.

Figure 35 (d). Cartes d'évolution des pluies mensuelles supérieures à 30 mm

Figure 36. Nombre de jours pluvieux et secs de septembre à mai, à différents seuils pluviométriques.

Figure 37. Cartes de régionalisation du nombre de jours pluvieux moyens (pluies supérieurs à 0,1 et 5 mm). Mois de novembre, décembre et mai.

Figure 37 (a). Cartes de régionalisation du nombre de jours pluvieux moyens aux seuils de pluies supérieurs à 10, 20 et 30 mm. Cas des mois de novembre, décembre et mai.

Figure 38. Indice pluviométrique régional au seuil supérieur à 0,1 mm, à l'échelle du NA.

Figure 39. Ecarts de pluies (%) aux seuils de 5, 10, 20 et 30 mm en référence aux pluies (0,1 mm) moyennes régionales.

Figure 40. Probabilités des pluies mensuelles supérieures à 5 mm aux pourcentages de 20%, 30%, 50% et 80% à l'échelle de l'aire d'étude, période (1936-2007).

Figure 41. Tendances des pluies décennales moyennes aux différents seuils pluviométriques.

Figure 42. Tendances du nombre de jours pluvieux aux seuils respectifs de 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm dans la RE, la RC et la RO en référence à la moyenne globale.

Figure 43. Probabilités d'occurrences des pluies décennales supérieures à 5, 10, 20 et 30 mm dans la RE, la RC et la RO, en comparaison à la moyenne.

Figure 44. Probabilités de séquences sèches aux seuils supérieurs de 5, 10, 20 et 30 mm à l'échelle régionale.

Figure 45. Evolution temporelle des températures mensuelles (°C) moyennes, minimums et maximums sur la période (1936-2007).

Figure 46. Tendances des températures mensuelles (°C) moyennes, minimums, maximums et cumulées des wilayas céréalières.

Figure 47. Température spatio-temporelle par phase, sur 71 ans.

Figure 48. Fluctuation des températures mensuelles (moyenne, minimum, maximum) à l'échelle régionale en référence à celle du NA.

Figure 49. Tendances des paramètres thermiques décennales (moyenne, minimum, maximum, cumulée) du NA.

Figure 50. Combinaison des températures et des pluies supérieures à 0,1 et 5 mm en relation avec la longueur de la période de croissance des céréales.

Figure 51. Tendances de la production annuelle moyenne (q) et de la pluviométrie.

Figure 52. Production (q) et pluviométrie annuelle dans les wilayas céréalières.

Figure 53. Production spatio-temporelle par région pluviométrique.

Figure 54. Rendement céréaliier et pluie annuelle sur 71 ans (1936-2007).

Figure 55. Rendement moyen et pluie moyenne par wilaya céréalière.

Figure 56. Evolution spatio-temporelle des rendements moyens à l'échelle de l'aire d'étude.

Figure 57. Pluies et productions annuelles par espèce céréalière (BD, BT, OR, AV), à l'échelle du Nord du territoire.

Figure 58. Evolution spatiale des pluies annuelles et des productions par culture (BD, BT, OR, AV).

Figure 59. Productions spatio-temporelles par culture (BD, BT, OR, AV) en relation avec les pluies régionales.

Figure 60. Rendements enregistrés par culture (BD, BT, OR, AV) en référence aux pluies annuelles moyennes.

Figure 61. Rendements spatio-temporelles enregistrés par culture (BD, BT, OR, AV) en relation avec les pluies annuelles régionales.

Figure 62. Production et rendement céréalier combinés aux pluies à différents seuils, sur la moyenne de 71 ans.

Figure 63. Répartition des pluies supérieures à 0,1 et 5 mm en comparaison aux besoins en eau mensuels des céréales pluviales dans les régions humides (a) et sèches (b).

Figure 64. Evolution temporelle de la production et de la température annuelle moyenne.

Figure 65. Tendances de la production moyenne et de la température annuelle moyenne dans les wilayas céréalières.

Figure 66. Evolution temporelle du rendement céréalier et de la température au Nord du territoire.

Résumé

L'agriculture pluviale en Algérie est dominée par la céréaliculture, pratiquée dans les vastes plaines du pays, localisées dans la bande étroite du Nord qui s'étend d'Est en Ouest sur 35,9 millions d'hectares, représentant à peine 17% du territoire national. Elle est limitée naturellement par un régime pluviométrique qui répond bon an mal an aux besoins en eau des cultures (le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine). Leur aire s'étend sur 8 millions d'hectares, soit 22% de cette bande nordique mais dominant largement (94%) la surface agricole utile. La production moyenne est de 20 millions de quintaux, moyennant un rendement de 7 quintaux à l'hectare sur 71 ans (1936-2007). Ce chiffre qui masque le maximum de 9 quintaux à l'hectare, propulse la production moyenne à 29 millions de quintaux, durant la dernière décennie. Le rendement des plus faibles, conduit à une production ne couvrant ces dernières années que 25 à 30% des besoins du pays. Le déficit est comblé par des importations massives de l'ordre de 75%, engendrant une facture qui atteint les 3 milliards de dollars américains. La faiblesse de la productivité est souvent imputée au climat notamment, à une pluviométrie capricieuse, mal répartie et déficitaire. C'est cette problématique qui a conduit à la réalisation de sujet avec la prétention d'étudier le climat, notamment les paramètres influant sur la productivité céréalière, en se basant sur un historique climatique, depuis 1936 à 2007.

Cette recherche décrit la variabilité climatique du Nord de l'Algérie, avec un accent particulier pour la pluviométrie suivie de la température pour 76 stations météorologiques, situées dans les wilayas céréalières. Les données climatiques utilisées à différentes échelles, annuelle, mensuelle, décadaire et journalière, ont permis de caractériser la variabilité de ces facteurs dans le temps et dans l'espace. La variabilité pluviométrique tient compte des pluies supérieures à 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm. Ces seuils permettent de différencier la sécheresse météorologique de la sécheresse agricole en tenant compte du nombre de jours pluvieux, du nombre de jours secs et du calcul des volumes précipités. Une analyse de débuts et de fins de pluies avec des probabilités d'observer des saisons pluvieuses à différentes durées de temps et d'espace, a été effectuée. Une régionalisation des pluies est ainsi, réalisée, elle met en évidence la répartition des potentialités pluviométriques, aux seuils définis. Elle contribue par conséquent, à retracer l'évolution spatio-temporelle des sécheresses à travers le déficit hydrique, retenu comme critère d'analyse.

Les données de températures ont été utilisées pour calculer éventuellement l'évolution climatique, mais aussi, leurs combinaisons à la pluviométrie, a servi à confectionner un calendrier agricole moyen caractéristique, du Nord de l'Algérie.

Les caractéristiques des pluies et des températures dans le temps et dans l'espace expliqueraient partiellement les variations agroclimatologiques des céréales pluviales. Ces variations sont subordonnées à l'utilisation efficiente de ces paramètres, dans cette conjoncture liée davantage aux aléas climatiques (sécheresses) en liaison avec d'autres facteurs techniques d'amélioration (sol, variétés, pratique culturale). Les résultats sont illustrés par des tableaux et des figures.

La démarche réalisée, contribue à éclairer les divers aspects de la problématique, qu'il s'agisse des composantes du climat (pluie météorologique et agricole, déficit hydrique ou sécheresse, température) ou de ses conséquences sur les cultures (satisfaction des besoins en eau des céréales, longueur de la période de croissance). Ces résultats qui cadrent avec les effets des changements climatiques, constitueraient un moyen scientifique de prise de décisions dans le secteur de la céréaliculture pluviale. Ils contribueraient en outre, à la réduction de la facture alimentaire et la dépendance alimentaire ainsi, que soulager l'économie du pays.

Mots clés : Nord de l'Algérie, céréaliculture pluviale, production, rendement, pluviométrie, température, agroclimatologie, variabilité, modélisation, régionalisation.

Summary

Rainfall agriculture in Algeria was dominated by field crops, practiced in the vast plains of the country, located in the narrow band stretching from North East to West on 35,9 million hectares, representing only 17% national territory. It is naturally limited by rainfall that meets year after year water needs of crops (durum wheat, barley and oats). Their area covers 8 millions hectares or 22% of this band but largely dominates northern (94%) of agricultural land. The average production is 20 million quintals, with a yield of 7 quintals per hectare in 132 years (1936-2007). This figure masks the maximum of 9 quintals per hectare, propels production averaged 29 million bushels during the last decade. The lower yield leads in a production in recent years covering 25-30% of the country's needs. The deficit is met by massive imports of about 75%, resulting in a bill that reaches 3 billion U.S. dollars. The low productivity is often attributed to the climate encompassing a capricious rainfall, poorly distributed and unprofitable. This is the problem that led us to address this issue with the contention of climate studies, including the factors affecting cereal productivity, based on historical climate from 1936 to 2007. This research describes the climate variability of northern Algeria, with special emphasis on rainfall followed by the temperature of 76 weather stations located in the wilaya cereal. Climate data used at different scales, annual, monthly, decadal and daily, were used to characterize the variability of these factors in time and space. The rainfall variability reflects rainfall higher than 0.1, 5, 10, 20 and 30 mm. These thresholds can differentiate meteorological drought of agricultural drought, taking into account the number of rainy days, the number of dry days and calculating volumes precipitates. An analysis of beginnings and endings of rain with probability of observing wet seasons at different periods of time and space was performed. A regionalization of rainfall is thus achieved; it highlights the potential distribution of rainfall, the thresholds defined. It thereby helps to trace the spatio-temporal drought defined through the water deficit retained as a criterion for analysis.

The temperature data were used to calculate the possible global warming, but also combinations of rainfall, was converted into an agricultural calendar means characteristic of Northern Algeria. The spatio-temporal rainfall and temperatures partly explain variations agroclimatological rainfall cereals. These changes are contingent upon the efficient use of this parameter, in this situation more related to climatic events (droughts) in conjunction with other factors enhancing techniques (soil, varieties, cultivation practice). The results are illustrated by tables and figures. The part is done, helps to clarify the various aspects of the problem, whether the components of the climate (rainfall and agricultural weather, drought or

water deficit, temperature) or its impact on crops (needs water grain, length of growing period). These results are consistent with the effects of climate change, would be a scientific decision-making in the area of rainfall cereal production. They also contribute to reducing food bills and food dependency and alleviate the country's economy.

ملخص

تغلب زراعة الحبوب على الفلاحة المطرية وتمارس في السهول الشاسعة للبلاد الواقعة على الشريط الضيق من الشمال والذي يمتد من الشرق إلى الغرب على 35.9 مليون هكتار، ما يمثل بالكاد 17 % من التراب الوطني. وهي محدودة طبيعيا بواسطة نظام هطول الذي يلبي "عام جيد عام سيء" الإحتياجات المائية للمحاصيل (القمح الصلب، القمح اللين، الشعير والخرطال). وتمتد رقعتها على 08 ملايين هكتار أي 22 % من هذا الشريط الشمالي، مسيطرة بما يتجاوز 94 % من المساحة الصالحة للزراعة. ويبلغ الإنتاج المتوسط 20 مليون قنطار بمعدل مردود مقداره 7 قنطار في الهكتار على إمتداد 71 عاما (1936-2007). يحجب هذا الرقم الحد الأقصى للمردود البالغ 09 قنطار في الهكتار يدفع بالإنتاج المتوسط إلى 29 مليون قنطار خلال العشرية الأخيرة، إن مردودا من الأكثر ضعفا، يؤدي إلى إنتاج لا يغطي في هذه السنوات الأخيرة، إلا 25 إلى 30 % من إحتياجات البلاد. ويسد هذا العجز عن طريق الإستيراد الضخم المقدر ب 75 % مما يتمخض عنه فاتورة بلغت 03 ملايير دولار أمريكي. وغالبا ما يعود ضعف الإنتاجية إلى المناخ ولاسيما لهطول متدبب، سيء التوزيع ويتمثل بعجز. هذه الإشكالية هي التي أدت إلى تناول هذا الموضوع مع النية في دراسة المناخ، خاصة العناصر المؤثرة على إنتاجية الحبوب، معتمدين على نبذة تاريخية للمناخ، ابتداء من 1936 إلى 2007.

يصف هذا البحث التغييرية المناخية لشمال الجزائر، مع التركيز الخاص على الهطول المطري متبوعا بدرجة الحرارة ل 76 محطة إرصادية واقعة في الولايات ذات الطابع الزراعي للحبوب. وقد سمحت المعطيات المناخية المستعملة بمقاييس مختلفة (سنوية، شهرية، عشرية، يومية) بتوصيف تغييرية هذه العوامل في الزمان وفي المكان.

التعبيرية المناخية تأخذ في الحسبان أمطارا أكبر من 0، 1، 5، 10، 20، و30 ملم. هذه العتبات تسمح بتمييز الجفاف الإرصادي الجوي عن الجفاف الزراعي مع الأخذ بعين الإعتبار عدد الأيام الممطرة، عدد الأيام الصحو (الجافة) وحساب الكميات (الأحجام) المتساقطة.

قد تم تحليل لبداية ونهاية الهطول مع إحتتمالات مشاهدة مواسم ممطرة لفترات زمنية ومكانية مختلفة، وهكذا تم إنجاز أقلمة للهطول التي تسمح بتوضيح توزيع القدرات التساقطية عند العتبات المحددة، وبالتالي تسمح برسم التطور الزماني والمكاني للخفاف من خلال " العجز المائي " الذي أستعمل كمييار للتحليل، وقد أستعملت معطيات درجات الحرارة لحساب التطور المناخي المحتمل كما أفاد تجميعها مع معطيات الهطول في تصحيح (وضع) رزنامة زراعية متوسطة متميزة لشمال الجزائر.

إن مميزات الهطول ودراجات الحرارة في الزمان والمكان قد تشرح جزئيا التغييرات الزراعية المناخية للحبوب البعلية. وتخضع هذه التغييرات إلى الإستعمال الفعال لهذه العناصر، في هذا الظرف المرتبط أكثر بالتقلبات المناخية (الجفاف) والمتعلق بعوامل تقنية أخرى للتحسين (تربة، أصناف، تقنيات زراعية)، تم توضيح النتائج بواسطة جداول وأشكال.

إن النهج المتبع يساهم في تنوير مختلف أوجه الأشكالية، سواء تعلق الأمر بمكونات المناخ (هطول، أرساد جوي زراعي، عجز مائي او جفاف، درجات الحرارة)، أو بعواقبها على المحاصيل (تلبية الإحتياجات المائية لمحاصيل الحبوب، طول فترة النمو). هذه النتائج التي تتوافق مع التغيرات المناخية، قد تشكل وسيلة علمية لأخذ القرار في قطاع الزراعة البعلية للحبوب، كما ستساهم في تخفيض فاتورة إستيراد الحبوب وبالتالي التبعية الغذائية للخارج مع التخفيف على إقتصاد البلاد.

Introduction

La sole céréalière en Algérie occupe 94% de la surface agricole utile, soit 8 millions d'hectares (ha) dont 3 millions ha sont cultivés alternativement avec la jachère (RGA, 2003) et exclusivement en régime pluvial. La production céréalière qui se caractérise par son irrégularité et sa faiblesse, engendre un rendement moyen inférieur à 10 q/ha (Bonjean, 2001), soit trois fois moins que la moyenne mondiale (CNUCED, 2007). Un rendement similaire à celui de l'Éthiopie ou de la Bolivie, considérés comme les plus faibles au monde (FAOSTAT, 2007). Un rendement qui engendre un déficit de plus en plus grand quant à la couverture alimentaire de la population. En conséquence, l'Algérie importe davantage de céréales pour couvrir ses besoins, qui s'élèvent en moyenne à 250 kg par habitant et par an. Une demande en progression selon Hervieu *et al.* (2006) qui relève que le besoin total en céréales depuis 1961, a été multiplié par 5 en Algérie, par 4 en Égypte et en Tunisie et par 3 au Maroc et en Espagne. En effet, les importations qui n'étaient selon Bencharif *et al.* (1996) que de 4 millions q en 1960, ont atteint 60 millions q en 2008 pour un coût de 3 milliards de dollars américains, soit 60% de la valeur globale des importations du pays (ONS, 2008). Cette quantité place l'Algérie parmi les plus gros importateurs mondiaux de céréales, en occupant la première place avec 65% à 75% du marché africain (Maggie, 2000 et Bensalem, 2010). Les achats sont principalement effectués de la France, des États-Unis, d'Italie, d'Allemagne et d'Espagne (CNIS, 1969/2008).

Pourtant, la bande nordique de l'Algérie, soumise à un climat méditerranéen et bénéficiant d'une moyenne pluviométrique annuelle entre 200 et 600 mm, accompagnée d'une gamme de températures relativement douces en hiver, entre 8 et 15°C, est selon Pionnier (1937) et Beaumont (1949), un ancien terroir à blés. La population qui était majoritairement rurale ne vivait que de cette activité céréalière, pratiquée en régime pluvial et avec des moyens rudimentaires.

Les efforts consentis durant la période post coloniale, par une meilleure mécanisation, de nouveaux intrants n'ont pas apporté les résultats attendus et la production est restée tributaire des aléas climatiques notamment, la pluviométrie. C'est du moins, l'explication courante avancée de la mauvaise performance de la céréaliculture. Cette explication érigée en théorie, semble être superficielle et soupçonné d'omettre la réalité complexe du terrain, puisque les rendements du *Triticum* dans certains pays, ont été décuplés en un siècle sous la même pluviométrie.

Ainsi le rendement en France, qui était de 7 q/ha en 1815, est passé à 20 q/ha en 1950 et fluctue désormais entre 50 et 80 q/ha. Certains pays ont atteint des rendements record ; tel est le cas de la Namibie (88,9 q/ha) et des Pays Bas (87,2 q/ha), la France arrivant à la neuvième position avec 69 q/ha. Dans d'autres contrées telles que les Etat-Unis et l'Australie, la variabilité des rendements jadis, intimement liée aux impondérables climatiques, a connu cette dernière décennie une nette progression. Actuellement, ces rendements de l'ordre de 15 et 28 q/ha (FAOSTAT, 2007), avoisinent la moyenne mondiale. Au Maroc et en Tunisie, pays voisins, ils ne dépassent pas 13 et 11 q/ha (Bouaziz, 2007 et APIA, 2007). En Chine, la recherche a pu aboutir à une nouvelle variété de blé « Xiao yan 81 » dont le rendement s'élève à 84,8 q/ha et dont la résistance à la sécheresse et aux infections, est considérablement améliorée (Zhensheng, 2007).

Au niveau mondial, l'amélioration des techniques culturales et la sélection génétique (création de la variété Norin 10) ont conduit à un accroissement considérable des rendements, passant de moins de 10 q/ha en 1900 à plus de 25 en 1990. En outre, à l'échelle planétaire où la moyenne était de 11 q/ha en 1961, a atteint actuellement 27 q/ha, ce qui représente une progression de 145% en 40 ans (CNUCED, 2007).

Les rendements des céréales ont en effet, évolué principalement sous l'impulsion des progrès techniques et des innovations apportées aux méthodes de productions. Elles englobent l'adaptation aux conditions de climats les plus fréquents ainsi, qu'à l'amélioration génétique des semences, l'itinéraire technique et toutes les étapes de la filière depuis, le travail du sol jusqu'au stockage.

Dans les pays du Maghreb, les rendements en régime pluvial ont pu atteindre 50 à 60 q/ha dans les stations expérimentales (Assabah, 1994 ; Zair *et al.*, 1996). Des rendements confirmés par les résultats de certains exploitants dans les terroirs orientaux de l'Algérie, rappelant les rendements de la variété de Oued Zenati, qui culminaient jadis à 120 q.

Les progrès réalisés tant dans le domaine de l'étude du climat, que dans les domaines de la sélection et l'amélioration permettent d'espérer relever le défi, afin d'accroître les rendements en régime pluvial.

Des études (Seltzer, 1949, Emberger, 1955, ANRH, 1993) relatives au climat ont été réalisées en Algérie, cependant elles restent rares, anciennes et non concluantes. Celles intégrant les autres paramètres climatiques tels que la température, le vent, le sirocco, la gelée et l'évapotranspiration, sont quasiment inexistantes. Il est de même pour les études relatives à l'impact du climat sur les céréales. L'impérieuse nécessité d'études assez précises, mesure le

degré de vulnérabilité de la production et oriente les décideurs tant sur les choix disponibles tant pour le développement durable que pour la sécurité alimentaire du pays.

La présente recherche aborde l'analyse des facteurs climatiques, notamment la pluviométrie et la température en se basant sur des séries historiques (1936-2007). Ces paramètres sont couplés avec la production et la productivité céréalière (de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine). L'aire d'étude porte sur le Nord de l'Algérie qui s'étend sur 35,9 millions ha, englobant 38 wilayas céréalières.

L'analyse de la pluviométrie notamment, repose sur l'élaboration d'un calendrier agricole en référence à des pluies supérieures à 0,1 mm, mais surtout en référence aux pluies significatives (CRET, 1993), soient des pluies supérieures à 5, 10, 20 et 30 mm. La démarche basée sur des modèles statistiques et cartographiques, contribue à modéliser et à régionaliser les régimes pluviométriques, en tenant compte du déficit hydrique. Les résultats sont reflétés par des indices agroclimatiques (écart à la moyenne, indice de Nicolson, probabilité d'occurrence des pluies et des sécheresses) en relation avec les dates de semis optimales des céréales pluviales.

Les données de températures ont été utilisées afin d'évaluer la tendance générale du climat, mais aussi, leurs combinaisons à la pluviométrie, a servi à confectionner un calendrier agricole moyen caractéristique.

Deux dimensions définissent principalement cette étude. La première est l'échelle d'espace, de quelques hectares (wilayas) à des centaines d'hectares (régions). La deuxième est l'échelle de temps : journalier, décadaire, mensuel à annuel. Ces échelles permettent de caractériser les potentialités pluviométriques, thermiques et les conséquences des sécheresses sur la productivité céréalière pluviale. Les résultats contribueraient à mettre en évidence les régions vulnérables à la céréaliculture pluviale ainsi, que la gestion des ressources en eau agricoles. Ils constitueraient par ailleurs, une assise pour améliorer les conditions de productions et donc de réduire les importations et les dépenses du pays.

Chapitre 1

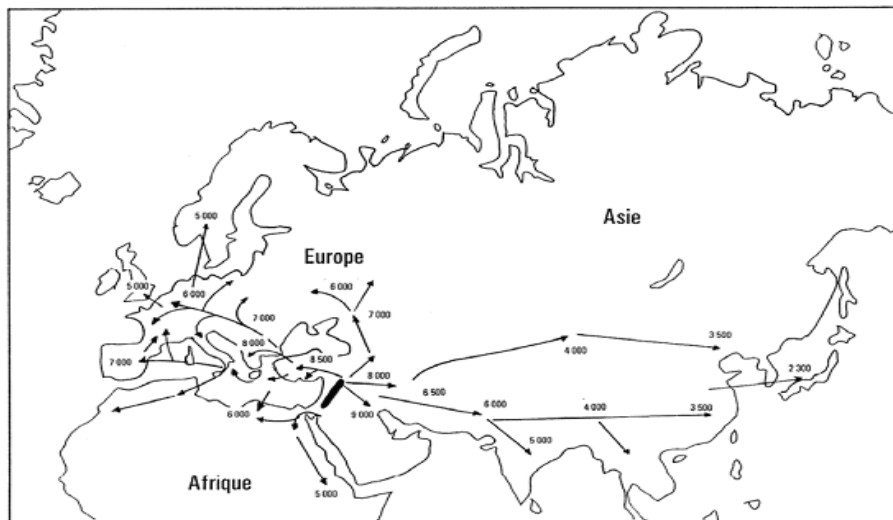
Synthèse bibliographique

I. Généralités

1. Historique

Les céréales sont des plantes annuelles de la famille des graminées. Leur domestication a eu lieu il y a 9 250 ans au début du néolithique (Bonjean, 2001 ; Willcox et Tanno, 2006) et depuis, leur diversité variétale n'a cessé d'augmenter dans les contrées du croissant fertile, conduisant à une sédentarisation progressive et à l'oubli du mode de vie «chasseur-cueilleur». Cette domestication ayant touché les blés, l'orge, le seigle et l'avoine fut à l'origine de bouleversements majeurs des sociétés humaines, qui ont, à leur tour, agit et continuent d'agir sur la modification de l'environnement naturel. La valeur nutritive et la possibilité du stockage ont sans doute conduit à ce choix pour que les céréales s'imposent dès 4 000 ans av. J-C, comme une base alimentaire au Moyen Orient, puis en Afrique du Nord et en Europe.

Les découvertes archéologiques ont permis d'établir une carte (fig. 1) assez détaillée, incluant diverses étapes de l'expansion de la culture des blés à partir du Croissant fertile (actuels Liban, Irak, Syrie et Sud de la Turquie) au cours des huitième et septième millénaires (Bonjean, 2001 ; Mosiniak *et al.*, 2006). C'est ainsi que les civilisations, mésopotamienne, pharaonique puis européenne se sont construites et avaient prospéré grâce aux blés, celles d'Extrême Orient autour du riz, celles des peuples amérindiens autour du maïs et celles de l'Afrique noire autour du mil (Beaumont, 1949). Huit à dix milles ans après, la situation est quasiment la même et les céréales constituent un apport calorique indétrônable pour une grande partie de la population mondiale.



Source : Bonjean (2001)

Figure 1. Carte de la diffusion de la culture du blé (dates par rapport à aujourd'hui).

2. Biogéographie

Cultures de civilisation, les céréales sont les plus importantes productions, eu égard aux emblavures et à la main d'œuvre directe et indirecte inhérente. Une véritable économie supporte maintenant l'activité céréalière dont l'aire géographique, est celle des contrées tempérées. Les limites naturelles, coïncident avec le 60^{ème} degré de latitude de l'hémisphère septentrional ; mais certaines variétés résistantes au froid, s'avancent plus au nord sous l'influence du courant chaud (*Gulf Stream*) poussant la culture jusqu'au 65^{ème} degré (Beaumont, 1949). Le même auteur souligne que dans les régions chaudes comme les oasis sahariennes, en dépit des contraintes de la chaleur excessive, les blés s'acclimatent tant bien que mal en réduisant leur cycle de vie et en parvenant à fournir une productivité satisfaisante et à mettre en valeur leur élasticité écologique remarquable.

Les travaux réalisés par Cochemé et Franquin (1968) en Afrique ; par Moule (1980) dans les régions françaises ; Zeggaf *et al.* (2001) au Maroc et Perpillon (1954) ; Laumont (1959) et Dulcire (1977) en Algérie, soulignent cette propriété intrinsèque d'élasticité. Selon ces auteurs, chacune des zones en raison de ses particularités climatiques propres, de ses expositions dominantes et de ces sols imposent aux céréales, une limite d'altitude et de latitude différente qui peut varier énormément, d'un milieu à un autre. Ainsi, trouvent-elles des limites à leur extension partout où il y a un manque de chaleur et par conséquent connaissent-elles une double limite en altitude et en latitude.

3. Botanique

Les céréales regroupent les blés, le riz, le maïs, l'orge, l'avoine, le seigle, le millet et le sorgho. Au cours des millénaires, ces cultures ont été cultivées de manière systématique, hybridées et sélectionnées jusqu'à obtenir les céréales actuelles. La famille botanique des graminées, répandue sur toute la terre, représente environ 4 000 espèces (Desmaisons, 1935). En raison des différences de position et de terroir, tant de régions céréalières dans les deux hémisphères du globe, fournissent une récolte à des époques symétriques (été boréal et été austral) permettant l'approvisionnement continu du marché mondial (Beaumont, 1949).

II. Adaptation phénologique

1. Climat

Avant d'aborder la phénologie d'adaptation de la culture céréalière au climat, il est important de clarifier la notion de climatologie qui a fait l'objet de plusieurs définitions dont celle de Hufty (2001). Cet auteur définit la climatologie « *comme l'étude des échanges énergétiques et hydriques entre la surface de la terre et l'atmosphère (climatologie physique). Ces échanges combinés avec la fréquence et la succession d'évènements météorologiques (climatologie statistique), influencent directement ou indirectement l'existence des êtres qui y sont soumis (bioclimatologie)* ». Le même auteur souligne que la climatologie statistique, peut être évaluée par deux approches distinctes. La première est analytique, elle définit le climat local comme l'état moyen des éléments de l'atmosphère au-dessus d'un lieu, pour une période suffisamment longue, supérieure à 30 ans. La deuxième est synoptique, pour laquelle la série d'états de l'atmosphère au dessus d'un lieu, dans leur succession habituelle, constitue le climat local. Cette approche s'appuie sur l'étude fréquentielle des types de temps.

1.1. Pluviométrie

La classification pluviométrique réalisée en Algérie par Beaumont (1949), Baldy (1974) reprise par Oudina (1986), situe la céréaliculture pluviale dans les étages bioclimatiques recevant des pluies moyennes comprises, entre 200 et 600 mm/an. Ces auteurs différencient également, un quatrième espace saharien où la céréaliculture ne peut être pratiquée sans l'irrigation intégrale.

1.2. Température

La température est souvent exprimée en degrés jours le long du cycle agricole des céréales. Cette mesure sert à planifier les semis, à prévoir les différentes étapes de croissances des plantes et à proposer les récoltes (Meynard et Sebillote, 1994 et MétéoMédia, 2010).

Les unités peuvent être calculées pour un jour, une saison ou pour toute l'année. Leur calcul dépend de la température moyenne d'une journée, qui résulte de la moyenne de la température minimum et maximum. Ainsi, une unité de degré jour supérieure à 5°C est définie, en tenant compte des modes de croissance des céréales et des plantes fourragères. Cette valeur seuil sert de référence pour l'analyse des températures de croissances et de développements des végétaux, mais elle peut varier selon l'espèce, la rusticité et la maturité des plantes.

L'effet de cet élément du climat sur la cinétique de croissance et de l'évolution phénologique des céréales, a fait l'objet de nombreux travaux. Pionnier (1937), Makhoulouf *et al.* (2006) ; Zouaoui et Bensaid (2007) font remarquer qu'au cours d'une saison agricole, la culture céréalière a besoin annuellement entre 2 000 et 2 500 unités de degrés jours de croissance.

1.3. Autres paramètres climatiques

1.3.1. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle (ETP) matérialise la donnée climatique, elle est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'une culture de référence (gazon) couvrant totalement le sol, et ayant une hauteur uniforme à son stade de développement végétatif maximal dans des conditions optimales, d'eau et de fertilisation (Doorembos et Pruitt, 1986 ; Choisnel, 1997). Son calcul peut être réalisé par des méthodes classiques et son évaluation contribue à définir les besoins potentiels en eau et les limites d'extension des cultures.

1.3.2. Besoins en eau

Les céréales consomment en moyenne, 500 litres d'eau par kilogramme de matière sèche élaborée. Leurs cycles composés en phases successives d'élaboration des rendements, font intervenir la notion de variation des besoins en eau au cours des différentes périodes. Les variétés céréalières ont des rythmes de croissance variés impliquant des situations différentes vis-à-vis du besoin en eau (Zair, 1991).

Les besoins en eau peuvent être estimés selon 3 méthodes. La première méthode est directe, elle se base sur l'estimation ponctuelle de l'évolution de l'humidité du sol, à l'aide d'un matériel spécifique (sonde ou tensiomètre). La deuxième est indirecte, elle détermine les besoins en eau de la plante par son comportement vis-à-vis des conditions climatiques (pluie,

température, rayonnement et évaporation). Enfin, la troisième méthode se base sur l'évaluation de la consommation réelle de la plante en case lysimétrique.

Dans la région du NA, Baldy (1974) a estimé mensuellement, les besoins en eau des céréales pluviales en calculant l'évapotranspiration potentielle dans chaque étage bioclimatique.

Les besoins en eau sont définis selon le critère altitudinale qui subdivise le pays en trois grandes zones. La zone littorale et sub-littorale (0-300 m), la zone tellienne (300-750 m) et celle des hauts plateaux (750-1100 m). Dans ce dernier cas, les pluies sont souvent inférieures aux besoins théoriques (Smadhi *et al.*, 2002). L'estimation des besoins en eau dans ces régions, est donnée par le tableau 1.

Tableau 1. Estimation des besoins mensuels en eau (mm).

O	N	D	J	F	M	Av	Ma	Ju	Jt
0-30	0-60	30-60	15-60	15-60	30-90	60-120	90-120	0-30-150	0-80

Source : Baldy (1974)

Le premier chiffre correspond à l'absence de la culture ou au semis en sec ou bien à la fin de la maturation. Le second chiffre correspond aux besoins maximaux d'une culture de céréales. La consommation totale en eau de la culture céréalière au cours de son cycle n'est pas une constante, pour deux raisons : le niveau de la demande maximale en eau dépendant du climat et le système de production qui peut être en irrigué ou non.

2. Agroclimatologie

A travers les temps, les céréales se sont adaptées de plus en plus à de nouveaux environnements agroclimatiques. Les blés se sont diversifiés au cours du temps aboutissant à un faisceau de variétés propre à chaque terroir. Moron (1996) souligne que cette situation, pourrait être liée à la variabilité agroclimatique régionale offrant une couverture spatiale satisfaisante.

Wim et Helmut (1997) spécifient que la connaissance des conditions agroclimatiques, dépend de l'identification, de la hiérarchisation et enfin de la caractérisation des formes actuelles d'occupation biophysique du sol. Celles-ci sont en relation avec la détermination des contraintes qui se posent à l'ensemble des unités naturelles, définies selon l'utilisation des systèmes de productions.

Pour Choissnel et Seguin (1986) l'évaluation agroclimatique est une technique de zonage, représentant une alternative à la cartographie de variables quantitatives disponibles en chaque

point du réseau agroclimatique. Ces variables peuvent être représentées sous forme de croisement de données climatiques, pédologiques et/ou phénologiques.

3. Sol

Les facteurs climatiques agissent sur la plante par l'intermédiaire des sols. Ces derniers permettent de minimiser les effets des aléas climatiques sur la plante, à travers leur structure et texture qui influent l'aération et les réserves en eau. Ces effets s'observent à l'intérieur des grandes zones géographiques (Isnard, 1954 et Metge, 1986).

Les sols d'Algérie peuvent être regroupés selon Benchetrit (1956) en trois groupes de sols zonaux.

Les sols des régions semi-arides dus à l'équilibre pluie-vent, autrement dit à l'équilibre entre l'action du vent et la résistance de la végétation.

Les sols des régions telliennes où l'humidité et la végétation deviennent les principaux facteurs des formations des sols.

Les sols sahariens formés sous l'action du vent, sans négliger les effets des températures et des sécheresses.

Les bons sols à céréales se caractérisent par : - une texture fine, limono argileuse, avec une proportion suffisante d'humus, afin de limiter les problèmes dus à la battance ; - une structure stable qui résiste à la dégradation, par les pluies hivernales ; - une bonne profondeur et une richesse suffisante en colloïdes. Ce sont des sols limono argilo-calcaire ou argilo siliceux (Prats et Clément, 1971 ; Soltner, 1990). Sur ces sols, les blés atteignent les rendements les plus élevés. A l'opposé, sur des sols très argileux et mal drainés, des sols très calcaires qui se soulèvent sous l'effet du gel et enfin sur des sols très sableux et acides, les rendements sont généralement, très médiocres selon les mêmes auteurs. En sol peu profond, les risques de sécheresses sont fréquents durant les périodes critiques (épiaison, phase de palier hydrique).

3.1. Fertilisation

L'azote est un élément indispensable à la croissance des céréales qui l'absorbent principalement sous forme nitrique et minérale. La réponse de la culture à la fertilisation azotée est très variable. Cette variabilité s'expliquerait selon Amrani (1991) par le précédent cultural, le type de sol et les conditions de minéralisation de l'année précédente en liaison avec la disponibilité de l'eau (pluie et irrigation).

En effet, les conditions de sécheresses de fin d'hiver et de printemps inhibent l'absorption de l'azote par la culture (Hamadache et Aknine, 2001). Une fertilisation azotée raisonnée, liée à

un sol bien alimenté en eau, permet d'améliorer sensiblement le rendement de 11 q/ha (Zair, 1994).

En Algérie, malgré la mise en œuvre d'une politique d'intensification des céréales, les systèmes de productions, bénéficient d'un apport en fertilisation nettement inférieur à la dose minimale nécessaire, en particulier pour la fertilisation azotée (Machet, 1983 et FAO, 2005). Le reliquat moyen à la récolte sur un horizon de 40 cm de profondeur, est de 94 kg d'azote/ha, ce qui représente une quantité très importante mais non, disponible pour la culture céréalière (Amrani, 1991).

3.2. Pratique agricole

Les pratiques agricoles sont conçues dans un contexte de variabilité des facteurs climatiques en rapport avec les situations topographiques et de sols. Aussi, Hamadache (1995) ; Makhlouf *et al.* (2002) soulignent que la multiplication et le développement des mauvaises herbes dépendent pour une grande part, de la période et des techniques de travail du sol ainsi, que des rotations choisies.

La compétition des mauvaises herbes se fait le long du cycle évolutif du blé ; mais elle est plus critique durant la phase levée montaison (Hamadache, 1989 ; Hadj Sahraoui et Bouzerzour, 2001) provoquant la chute des rendements de l'ordre de 10 q/ha. Celle-ci pourrait être plus grave en cas de sécheresse.

Les pertes occasionnées par les mauvaises herbes, atteignent selon Hamadache et Aknine (2001) entre 25 à 50% de la production potentielle de la culture. Alors qu'un désherbage peut améliorer de 42% le rendement en grain. Ces auteurs soulignent qu'en zones semi-arides, un labour précoce de la jachère travaillée, réduit de 35% le taux d'infestation du blé par rapport à un labour effectué, deux mois plus tard. La lutte contre les mauvaises herbes en cultures de blés, est probablement, après l'irrigation de complément, le second facteur d'intensification de cette culture.

Le semis à la volée est largement pratiqué en Algérie, alors que le semis en lignes est reconnu comme un facteur d'amélioration du rendement. Le taux d'amélioration du peuplement épis par un semis en lignes, est de 84% alors que, le rendement est corrigé de 121% (Ait Amer *et al.*, 1992 et Hamadache et Aknine, 2001).

4. Variété

Doués de propriétés culturales et nutritives remarquables, les blés se sont constamment diversifiés et améliorés. Leurs rendements ont constamment augmenté ; le nombre de variétés

cultivées ou cultivables, n'a cessé de s'accroître permettant une adaptation à des situations très diverses de milieu et une résistance aux parasites (Mosiniak *et al.*, 2006).

L'adaptation des variétés aux conditions climatiques et aux sols de la microrégion, s'impose pour une bonne productivité. Trois composantes principales se dégagent de la productivité, le nombre d'épis au mètre carré, le nombre de grains par épi et le poids du grain (Bouzerzour *et al.*, 2002). Le rendement représente la résultante des ces composantes avec les facteurs du milieu.

Les recherches développées effectuées par l'institut des grandes cultures (ITGC) sur le territoire algérien sur de longues années, font ressortir une volonté de mettre à la disposition des agriculteurs un référentiel adapté et fiable susceptible d'améliorer la production des céréales.

L'amélioration et la sélection de variétés selon les régions géographiques et climatiques, sont établies sur la base de caractéristiques de variétés à haute fertilité (rendement) ; un cycle végétatif adapté aux conditions climatiques et tolérant au stress (sécheresse, gelées et siroccos), résistant aux maladies et possédant une bonne qualité technologique avec des valeurs nutritives élevées (ITGC, 1995 et Boufenar et Zeghouane, 2006).

Les variétés utilisées en Algérie, ont connu une évolution très marquée avec l'introduction progressive de nouvelles variétés. Les variétés les plus semées d'Est en Ouest de l'Algérie sont récapitulées par le tableau 2.

Tableau 2. Différentes variétés de céréales autorisées à la production.

Céréales	Variétés et type de précocité			
	Précoce	Semi précoce	Semi tardive	Tardive
Blé dur	Capeiti, Belikh, Cham 4, Chen S, Dta dur, Vitron, Kebir, Sahel, tassili, Waha 'S', Oum rabi 09	Bibans, Bidi 17, sebaou, Simeto, Ardente, Capeiti, karim, Or jaune, Poggio, Carioca, Cirta	Polonicum, Mohamed Ben Bachir, Ofanto, Zibans	Eider, Hedda 3, Oued Zenati
Blé tendre	Arz, Anza, Chelliff, florence Aurore, hiddad, Hodna, Isser, Mimouni, Nesser, Rhumel, Sidi Okba, Soummam, Strampelli, Tessalah, West Bred, yacora Rojo, Ziad, Zidane	Ain Abid, Almirante	Bufalo, Orion	Mahon Demias
Orge	Badia, Bahria, Jaidor, Express, Barberousse, Nailia Plaisant,	Djebel, Majestic, Nikel, Princess, vertige	El Fouara, Soufara	Said 183

	Rebelle, ACSAD 68, Rihane 03, Tichedrett			
Avoine	Avon, Canelle, guebli, Guelma, El Kodja, Hamel, Lahmer, Lakhal, Sonar, Prévigion, WWI 78			

Sources : ITGC (1995) ; Boufenar et Zaghouane (2006) ; Boulal et al. (2007)

4.1. Précocité

La précocité se traduit par la sélection de variétés très résistantes au froid ou à la chaleur et par une bonne adéquation de leurs cycles à la longueur de la saison des pluies.

L'adoption de variétés à cycle relativement court, constitue un important mécanisme d'esquive de la sécheresse de fin de cycle et contribue à l'amélioration du rendement des céréales (Ben Naceur *et al.*, 1999 ; Makhlof *et al.*, 2006). Fischer et Maurer (1978) estiment que chaque jour de gagner en précocité, génère un gain remarquable en rendement allant de 30 à 85 kg/ha. Lacaze (2006) souligne que le développement de plantes tolérantes à la sécheresse, contribuerait à résoudre en partie les problèmes d'autosuffisance alimentaire.

La stabilité ou l'augmentation de la production des céréales, repose essentiellement sur l'identification et la caractérisation morpho physiologique d'adaptation, de tolérance ou d'esquive au stress hydrique. Brisson et Delecoller (1992) insèrent l'importance de développer une approche raisonnée à l'échelle phénologique, elle permettra de mieux caractériser la variable hydrique (pluviométrie), de repérer les périodes de stress et de fournir un complément d'eau par irrigation. Cette approche peut être réalisée à travers l'identification des séquences de sécheresses, leurs occurrences, leurs intensités et leurs durées (Stern *et al.*, 1982).

4.2. Résistance aux maladies

Les variétés de céréales sont classées en fonction de leur aptitude à résister à l'attaque des principales maladies. Les maladies susceptibles d'attaquer les céréales sont très nombreuses. Il est possible de classer les plus importantes d'entre-elles, en trois catégories selon les méthodes de lutttes utilisables (Bendif, 1994 et Ekopedia, 2010). Les maladies ne pouvant être combattues que par les techniques culturales tels que la rouille et le piétin verse, peuvent être à l'origine de dégâts très importants dans certaines terres légères. Elles provoquent l'échaudage des épis par tâches dans les parcelles atteintes. Les maladies justiciables de traitements de semences sont les fontes de semis, dues aux fusarioses et aux septorioses et les maladies charbonneuses. Les maladies atteignant la base des tiges, les feuilles ou les épis, justiciables de traitements aériens.

Dans le monde, les pertes annuelles causées par les maladies sont de l'ordre de 13,5 millions q pour les céréales. Les blés et les orges représentent à eux seules plus de 10% des pertes globales. Ces aspects sont plus prononcés dans les pays en voie de développement (Sayoud, 1987).

4.3. Cycle de développement

4.3.1. Semis germination tallage

Les conditions climatiques qui permettent le semis et la germination, sont essentiellement l'humidité suivie de la température, qui est un facteur aussi important. Une bonne germination nécessite une température minimale comprise entre 0 et 5°C pour les blés, l'avoine et l'orge. Mais, une température comprise entre 8 et 10°C est préférable pour obtenir une levée rapide et régulière (Geslin, 1944 et Euverte, 1959).

Certains blés ne germent qu'après un passage de quelques jours à des températures voisines, de 10 et 12°C. L'optimum est compris entre 20 et 22°C. Pour Gregory *et al.* (2003), cet optimum est compris entre 25 et 30°C. Cependant Ekopedia (2010) souligne que cette température de 30°C représente la somme de température, base 0°C, soit trois jours à 10°C ou 10 jours à 3°C.

Le rythme d'émission des feuilles est une fonction des facteurs externes comme la durée du jour qui est d'environ, 12 heures et même 16 heures (Moule, 1980 ; De Parcevaux et Hubert, 2007) et le rayonnement au moment de la levée. Le nombre de feuilles est exprimé en fonction des cumuls de températures depuis le semis. Selon les expériences la somme de températures en degré jours depuis la phase germination-tallage, est équivalente à 500°C.

4.3.2. Montaison floraison maturation

Le stade épiaison est une étape importante dans le cycle de la plante, elle donne souvent une indication sur les capacités différentielles de productions des variétés. En conditions non limitantes, la surface foliaire, la biomasse aérienne et sa répartition au stade épiaison, déterminent le rendement grain réalisable à maturité (Bouzerzour *et al.*, 2002a).

Ainsi, Bouzerzour *et al.* (2002) signalent que les blés durs se caractérisent par une moindre capacité de production des épis par unité de surface ; alors que les blés tendres arrivent à faire monter autant d'épis par mètre carré que les orges, malgré la capacité de tallage plus importante de ces dernières.

Wardlaw (2002) et CNUCED (2007) appuient que la floraison ne débute qu'avec une température qui dépasse les 14°C, soit une somme des températures durant cette phase, avoisinant les 850°C.

En présence de stress de nature abiotique, l'état de la plante est dépendant de l'espèce, du type de variété et de la date de l'avènement du stress.

Une phase de remplissage qui se déroule sous de fortes contraintes hydriques et thermiques, donne des rendements très faibles, même si l'état de la plante suite aux conditions de croissances de la post-épiaison, laisse espérer un bon rendement (Abbaassenne *et al.*, 1998 ; Bouzerzour *et al.*, 2002).

Abrol et Ingram (2008) montrent qu'une hausse des températures de 15/10°C à 21/16°C vers 30/25°C, affecte la durée de remplissage des grains qui se réduit de 60 à 36 jours jusqu'à 22 jours, alors que la vitesse de croissance du grain augmente. Elle passe de 0,73 à 1,49 vers 1,51 mg/grain/jour avec une influence minimale sur le poids du grain à maturité.

La période de maturation des grains se fait en plusieurs étapes, la maturité laiteuse (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin), la maturité jaune (le grain a perdu en humidité et l'amidon a été constitué), la maturité complète (la teneur en humidité atteint environ 20%), le grain est mûr et prêt à être récolté (CNUCED, 2007). La somme de températures durant cette phase coïncide avec les 850°C également.

5. Longueur de la période de croissance

La longueur de la période de croissance des céréales, dépend entre autre des stress thermiques. Une augmentation de la température moyenne avec un printemps relativement frais accompagnée d'automne défavorables aux cultures, peut allonger la saison effective de croissance (GIEC, 2007 et APE, 2010). Cet allongement affecterait les régions où le potentiel agricole est habituellement limité, par un stress de températures froides. Les mêmes scientifiques rajoutent que les changements dans les pluviométries pourraient affecter les taux d'érosion des sols et de l'humidité du sol, qui sont toutes deux importantes pour les rendements des cultures. Dans ce cas, une température accrue affecterait le calendrier des cultures en réduisant probablement la longueur de la saison de croissance effective (*Length of Growing Period*, LGP) (Amphoux *et al.*, 2003 ; Abrol et Ingram, 2008). Ce dernier auteur signale que le blé pluvial, dépend de l'humidité restant dans le sol après la récession des pluies en septembre.

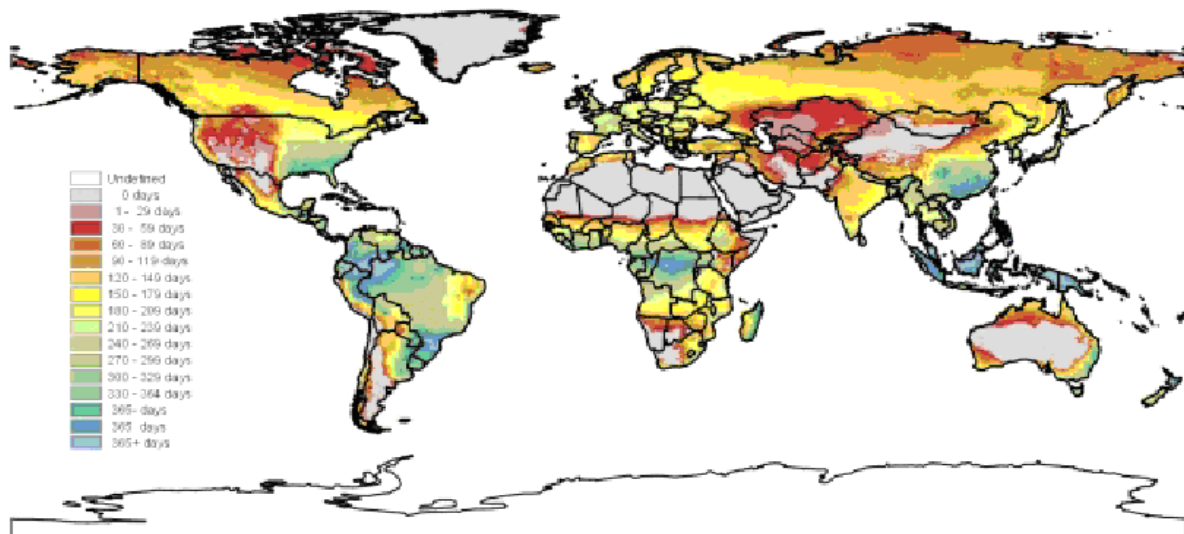
Les températures maximales et minimales élevées en septembre (environ 34/20°C), menacent l'établissement des plantules, accélèrent le développement végétatif, réduisent le couvert

végétal, le tallage, la taille des épis et le rendement. D'où, le semis est traditionnellement reporté après la mi-octobre malgré que souvent, une grande partie de l'humidité du sol soit perdue.

Des températures élevées au cours de la seconde moitié de février (25/10°C), en mars (30/13°C) et en avril (30/20°C) réduisent le nombre de fleurons viables et la durée de remplissage des grains.

Le stress de chaleur réduit particulièrement le rendement du blé semé en décembre/janvier dans certaines régions à cause du système multiculturel.

Ainsi, la LGP tient compte de la distribution des régimes pluviométriques associés à ceux des températures. Une LGP inférieure à 120 j définit un climat hyperaride, aride ou semi-aride. La figure 2 donne une évolution probable des LGP à l'échelle mondiale, entre aujourd'hui et 2080 selon un modèle présentant une forte sensibilité climatique. Cette évolution relève que 60% des zones où la LGP est inférieure à 120 jours, se trouvent en Afrique, partagée entre l'extrémité Sud et toute la zone Nord du continent (Fischer *et al.*, 2002 ; Sim, 2004 ; Chaise *et al.*, 2005 ; Thornton *et al.*, 2006).



Source : Fischer *et al.* (2002) ; Chaise *et al.* (2005)

Figure 2. Durée de la période de croissance pour le climat de référence, 1961-1990.

6. Rendement

Le rendement mondial moyen oscille entre 20 et 30 q/ha (Bonjean, 2001 et CNUCED, 2007). Les plus gros producteurs de blé sont la Chine, les États-Unis, l'Inde, la Russie et le Canada.

Cependant, c'est l'Union européenne des 15 qui présente les plus hauts rendements avec sept pays se classant parmi les dix plus productifs. Elle produit à elle seule, plus de 10% des céréales mondiales dont 17% en blés (CNUDEC, 2007). Le tableau 3 donne le classement des vingt cinq premiers pays à travers le monde par leur rendement, sur l'année 2005.

Le rendement des céréales selon ce classement, subit de fortes variations annuelles, liées aux conditions météorologiques. La comparaison établie sur plusieurs années, en Suisse par exemple, montre que la production de céréales panifiables et de céréales fourragères, a fortement augmenté depuis les années 70 et cette augmentation continue (ISP, 2010). Celui de la Chine qui dispose de conditions de production, du niveau technique ainsi, que d'autres conditions de développement, le rendement céréalier le plus élevé à l'hectare, atteint 75 à 150 q ; le rendement le plus bas est de 30 à 50 q.

Actuellement, les progrès scientifiques et techniques en Chine augmentent la capacité de production agricole de 35% environ ; et ceux des pays développés de plus de 60%. Ces progrès augmenteront encore durant les années 2000 à 2030 de 50% atteignant le niveau des pays développés, malgré les aléas climatiques (FAO, 2010).

Tableau 3. Rendements par pays producteur (année, 2005)

Pays	Rendements (q/ha)	Pays	Rendements (q/ha)
Namibie	89	Luxembourg	58
Pays-bas	87	république tchèque	55
Belgique	83	Arabie saoudite	51
Irlande	81	Autriche	50
Royaume Uni	80	Mexique	50
Allemagne	74	Slovénie	47
Danemark	71	Slovaquie	45
Nouvelle Zélande	71	Norvège	45
France	69	Hongrie	45
Egypte	65	Chili	44
Zambie	64	Malte	43
Suède	63	Chine	42
Suisse	60		

Source : CNUCED (2007)

7. Amélioration du rendement

Les rendements céréaliers ont connu une accélération nouvelle grâce au progrès de la génétique et le développement des techniques agricoles. Adi (2006) signale les recherches récentes d'identification des gènes du blé responsables de la tolérance au froid et à d'autres

stress abiotiques tels que, les sécheresses et les vagues de chaleur. Ces recherches envisageraient une augmentation des rendements dans cette conjoncture de changements climatiques. Elles entreverraient également, de nouveaux bonds en avant, pour l'amélioration des céréales concernant l'alimentation humaine (augmentation de la richesse en protéines).

Weber et Reichrath (1986) pensent que la répartition des rendements, est déterminée par l'intensité de la demande et le niveau de technologie agricole. *L'intensité de la demande est le résultat historique de la densité de la population humaine et du pouvoir d'achat par unité de surface agricole. Le niveau de la technologie agricole se manifeste dans le nombre de facteurs de production utilisée dans le processus de la production.*

A l'instar, la céréaliculture en Algérie ne profite pas de cette technologie, en dépit des efforts consentis par les pouvoirs publics pour augmenter les rendements, qui ne dépassent guère en moyenne 10 q/ha. Le pays comme la plupart de ceux en voie de développement, en raison des pluviométries faibles, les rendements céréaliers restent très volatiles, comparativement aux pays dont le climat est similaire, cas de l'Australie et des Etats Unis.

Le climat aléatoire, la faible capacité d'irrigation et le faible progrès technologique, rendent la variabilité des rendements céréaliers très vulnérables, avec des conséquences négatives sur la gestion de la sécurité alimentaire du pays.

8. Changement climatique

Dans les régions semi-arides ainsi, que dans d'autres zones agro-écologiques, l'humidité et les ressources en eau seront principalement affectées par une augmentation de la température, indépendamment de tout changement pluviométrique. Cette hausse augmenterait la cadence d'évaporation, réduisant ainsi, le niveau d'humidité disponible pour la croissance des plantes (Amphoux *et al.*, 2003). Selon ces auteurs, les marges d'incertitudes sur l'augmentation ou la diminution des pluviométries sont très importantes, contrairement à celles des températures. Il est par conséquent, difficile de prévoir les effets réels des variations des pluies, même si globalement, des sécheresses plus importantes sont prévues dans le sud de l'Europe, les Etats-Unis et surtout sur le continent africain (GIEC, 1997 ; Agoumi, 2003 ; Amphoux *et al.*, 2003 ; Rousset et Arrus, 2006).

Si les saisons des pluies seront alors, décalées, voire perturbées, elles ne correspondront plus aux cycles de croissance des plantes, entraînant inévitablement une perte de rendement (Amphoux *et al.*, 2003 ; OMM, 2006).

L'augmentation des températures de 2,5°C et la baisse des ressources hydriques déjà limitées, en Afrique du Nord provoqueraient des baissent de rendements céréaliers, d'ici à 2100

(Balaghi et Dahan, 2009). Au Maroc, ces pertes accuseraient une baisse de 10% en année normale et près de 50% en année sèche. La production nationale moyenne imputerait une baisse de 30% (Bindi et Moriondo, 2005 ; Rousset et Arrus, 2006). En Algérie, ces auteurs anticipent des réductions moyennes de rendements de 5,7% à près de 14%.

La céréaliculture, se trouve d'ores et déjà fortement affectée et subit de plein fouet les importants dérèglements du climat.

III. Contraintes

Tenter d'aborder les contraintes liées à la stagnation de la production céréalière, revient à analyser les principaux paramètres à caractère naturel, technique et socio-économique qui auraient une incidence sur le niveau actuel de la productivité.

1. Climat

A l'échelle mondiale, le climat est souvent rendu difficile en raison d'une pluviométrie globalement, aléatoire et irrégulière, des températures extrêmes reflétant des stress hydriques, thermiques et des sécheresses à longueur du cycle de croissance des céréales. Ces conditions inhibent l'intensification céréalière surtout, dans les régions en voie de développement tel qu'il est le cas de l'Algérie, dominée par un climat semi-aride et aride.

1.1. Stress hydrique

Pour une plante, l'état de stress hydrique correspond à un «manque d'eau ou déficit hydrique». Le déficit hydrique affecte plusieurs variables de fonctionnement de la plante, telles que la température foliaire (Patel *et al.*, 2001; Luquet *et al.*, 2004), la conductance stomatique (Penuelas *et al.*, 1992) et la photosynthèse (Idso *et al.*, 1981 ; Benlaribi, 1990 et Yuan *et al.*, 2004). Face à ce déficit, les variétés ont des réponses différentes et engendrent des pertes de rendements, à n'importe quel stade de leurs croissances.

Chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), en région méditerranéenne, le déficit hydrique est l'une des causes principales des pertes de rendements qui varient de 10 à 80% selon les années (Nachit *et al.*, 1998).

Le déficit hydrique de début de cycle, coïncide avec le démarrage de la culture (levée, tallage) et celui de fin de cycle qui est le plus fréquent, affecte le remplissage des grains (Watts et El Mourid, 1988 ; Zair, 1991). Une carence hydrique précoce durant la phase végétative, réduit le nombre et la taille des talles chez le blé (Stark et Longley, 1986 ; Blum *et al.*, 1990).

Le tallage est l'un des principaux facteurs déterminant le rendement en grains chez les céréales (Hucl et Baker, 1989).

La tolérance du blé à la contrainte hydrique peut être associée à une précocité d'épiaison (Makhlouf *et al.*, 2006), à un système racinaire abondant (Hurd, 1974 et Passioura, 1994), à une fermeture rapide des stomates, à une grande efficacité d'utilisation de l'eau (Green et Read, 1983) ou au maintien d'un potentiel de turgescence élevé (Morgan et Gordan, 1986 ; Matin *et al.*, 1989).

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Slama *et al.*, 2005). L'OMM (2006) fait remarquer que la baisse du rendement en grains du blé, est variable selon la variété considérée, l'intensité et la durée de la contrainte hydrique.

Choisnel (1997) réalise que la part importante des fluctuations interannuelles des rendements, est due au déficit hydrique ; lequel peut être estimé à travers les définitions de sécheresses.

1.2. Sécheresse

La sécheresse en Algérie comme dans le reste du monde est un impératif, de plus en plus pressant pour la céréaliculture surtout, ces dernières années caractérisées par les aléas climatiques. Ces derniers reflètent les phénomènes climatiques extrêmes tels que les gelées précoces et tardives, les siroccos, le manque de pluies ou de pluies excessives représentant une menace sérieuse pour la production agricole.

Heathcote (1973) et OMM (2006) rappellent qu'aucun phénomène, n'est considéré plus dévastateur à grande échelle que la sécheresse. Elle constitue l'un des plus importants détonateurs naturels de la famine et de la malnutrition (Bizzarri, 2010).

La sécheresse représente un phénomène de caractère régional dont les caractéristiques varient d'un régime climatique à l'autre. C'est une anomalie temporaire, à la différence de l'aridité, qui est une caractéristique permanente du climat. Elle sévit dans la plupart des pays, dans les régions sèches comme dans les régions humides.

La sécheresse fait partie du climat, même si son étendue et son intensité varient à une échelle de temps saisonnière ou annuelle (OMM, 2006). En réalité, il y a autant de définitions de sécheresses, qu'il y a d'utilisateur d'eau :

Agriculture : la sécheresse est définie comme un déficit marqué et soutenu des pluies réduisant significativement les productions agricoles, par rapport à la normale ou les valeurs attendues pour une région de grande étendue (OMM, 2006 ; Amigues *et al.*, 2006 et MEMRM, 2010).

Météorologie : la sécheresse est généralement définie par un seuil correspondant à un certain déficit des pluies sur une période de temps déterminée. Le seuil choisi (par exemple 75% de la normale) et la durée de la période (par exemple six mois) varient d'un endroit à l'autre, selon les besoins des utilisateurs ou les applications concernées (OMM, 2006 et Balaghi et Jlibene, 2010).

Hydrologie : la sécheresse est définie lorsqu'à l'échelle régionale, la pluviométrie est en dessous de la moyenne traduisant un niveau d'approvisionnement anormalement bas des cours d'eau et/ou des réservoirs de surface ou souterrain (Sircoulon, 1988 ; OMM, 2006 et Bizzarri, 2010).

Socioéconomique : La sécheresse apparaît quand les pluies insuffisantes ont un impact significatif sur les communautés et leur économie. Elle reflète la relation entre l'offre et la demande de certaines denrées ou de certains biens économiques (eau, fourrage pour le bétail, énergie hydroélectrique) qui sont tributaires des pluies. *L'offre varie annuellement en fonction des pluviométries ou de l'eau disponible ; la demande varie souvent en fonction par exemple, de l'augmentation de la population, du développement ou à d'autres facteurs* (OMM, 2006).

1.3. Indices de sécheresses

La sécheresse n'étant plus un aléa climatique exceptionnel mais un état fréquent et prévisible dans sa gestion, est mal définie dès qu'il s'agisse de raisonner à l'échelle de la culture.

Glantz (1987) souligne que les périodes d'installation de la sécheresse ainsi, que leurs fins sont souvent difficiles à préciser, par manque d'une distinction nette entre période sèche et période de sécheresse. Sivakumar (1991) retient par ailleurs, que le déficit hydrique commun à toutes les définitions, peut être retenu comme critère d'analyse.

- Indice journalier

Un jour pluvieux est défini comme celui au cours duquel, la pluviométrie est supérieure à un taux d'évaporation déterminé. Doorembos et Pruitt (1986) définissent le jour pluvieux (ou une journée pluvieuse) par un gain net de 60% de pluie reçue. Selon ces auteurs, toute pluie inférieure à 5-8 mm et même supérieure à 25-30 mm peut être perdue par évaporation durant les phases initiales et précoces de développement de cultures et lorsqu'une proportion de sol est restée sèche, pendant un certain temps.

D'autres auteurs considèrent la pluviométrie comme efficace, en écartant les pluies inférieures à 5 mm ou supérieure à 75 mm en un jour et à 125 mm en 10 jours.

Au Japon, concernant le maïs, 80% des pluies sont considérées potentielles en écartant les pluies de 1,8 mm et supérieur à 30 mm.

Au Vietnam, les pluies journalières inférieures à 5 mm et supérieures à 50 mm sont éliminées. Aussi, Hills et Morgan (1981) considèrent qu'une journée est pluvieuse au seuil minimum de 5 mm. Les autres valeurs donnent une idée du temps d'attente pour satisfaire, à des degrés divers, les besoins en eau de la culture.

- Indice annuel

A cette échelle de temps, l'installation de la sécheresse à court terme peut être estimée selon Gibbs et Maher (1967) sur la base de la pluviométrie. Ces auteurs conclurent que, comme paramètre unique, la pluviométrie est le meilleur indicateur de la sécheresse.

En Australie, la sécheresse est déterminée quand une région reçoit moins de 10% de pluies par rapport à la moyenne annuelle ; alors qu'en Inde la sécheresse est déclarée quand les pluies annuelles sont inférieures de 75% aux normales saisonnières. Aux États-Unis, le terme est utilisé quand une étendue reçoit 30% au moins de précipitation, qu'en temps normal sur un minimum de vingt et un jours (DRE, 2009).

Wetherell *et al.* (1979) ont décrit les sècheresses au sahel en fonction des variations par rapport à la moyenne à long terme ; un écart de plus de 30% risquant de causer une insuffisance alimentaire grave pour la population.

Seltzer (1949) en Algérie, Rasmusson (1987) en Afrique de l'Ouest ont analysé les sécheresses en se basant sur des écarts normalisés par rapport à la moyenne pluviométrique des séries disponibles.

Nicholson (1981, 1983) a décrit les sécheresses en Afrique de l'Ouest et en Afrique australe, en se basant principalement sur la fluctuation de la pluviométrie sur de vastes étendues, ainsi que les séquences des années sèches.

Meddi *et al.* (2009) ont utilisé la méthode des quintiles pour décrire la persistance de la sécheresse à l'Ouest de l'Algérie.

La plupart des auteurs cités, ont étudié l'incidence des sécheresses sur la base annuelle. Mais, elle reste également étudiée sur des échelles de temps différentes, simulant des indices de sècheresses en l'absence de données d'humidité du sol, de ruissellement et de l'évapotranspiration. Ces indices contribuent à décrire qualitativement et quantitativement les sécheresses.

- Indice mensuel et décadaire

Parmi ces indices, celui de Hills et Morgan (1981) propose un calcul des probabilités de périodes sèches, en se basant sur les quantités de la distribution du temps d'attente jusqu'au prochain jour humide ou pluvieux. Dans ce contexte, Davey *et al.* (1976) considèrent le début des pluies comme la période des 10 premiers jours avec au moins, une pluie totale de 20 mm. Cette définition engendre selon Sivakumar (1991) de faux débuts, puisqu'un jour de pluie peut être suivi de 1 ou 2 jours consécutifs secs, ou 10 jours secs ou plus dans les 30 prochains jours. Une définition pour laquelle la validité est confirmée en modelant les séquences de pluies quotidiennes pour la planification des opérations dans les champs (Stern *et al.*, 1982). Une autre date, est celle de Silvakumar (1991). Cet auteur définit la date d'installation des pluies, comme le premier jour après le 1^{er} mai, où la pluviométrie cumulée avec celle des deux jours précédents, atteint 20 mm ou plus et sans qu'il ne soit suivi pendant les 30 jours ou plus d'une période sèche excédant 5, 10, 15 et 20 jours (j). Quant à la date de fin des pluies, elle se produit selon le même auteur, lorsqu'il n'y a plus de pluies pendant 20 jours ou deux décades, après le 1^{er} août.

Stern *et al.* (1982) définissent la fin de la saison des pluies, lorsqu'il y a apparition d'une période sèche après une date déterminée.

Pour le bureau météorologique britannique (Crowe, 1971), une période sèche comporte au moins 15 jours consécutifs sans pluies journalière d'une hauteur de 1 mm ou plus.

Une sécheresse absolue débute après 15 jours consécutifs sans pluie journalière supérieure à 0,25 mm.

Pour la DRE (2009), la sécheresse est déclarée en France, quand moins de 0,2 mm de pluie est tombé sur une période d'au moins quinze jours.

Continuellement, la principale question à laquelle sont confrontés l'agronome et l'agroclimatologue, est dans quelle mesure, il est possible d'atténuer les contraintes pluviométriques pour une meilleure adaptation des techniques culturales.

1.4. Stress thermique

La résistance au stress thermique est étroitement liée à l'alimentation de la plante en eau. L'activité phénologique du blé est maximale à 25°C ; des températures de 28 à 30°C sont considérées comme stressantes, elles affectent le poids final du grain en réduisant la durée de remplissage du grain (Al-Khatib et Paulsen, 1990).

Le stress thermique durant la phase prè-anthèse modifie non seulement le poids final du grain, mais aussi le nombre de grain (Wardlaw, 2002). Au-delà de 32°C, des dommages irréversibles peuvent aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante (Belhassen *et al.*, 1995). Aussi, une seule journée à une température minimale inférieure à -4°C et à -5°C durant la phase germination levée et entre le stade épi 1 cm et un nœud, pénalise le nombre de grain par épi (Gate, 1995 ; Boulet *et al.*, 2000).

La croissance des cultures est souvent limitée par les effets des températures, lesquels tendent à se modifier davantage durant les années à venir, surtout dans les latitudes moyennes et élevées.

2. Changement climatique

Le changement climatique se traduirait selon Amphoux *et al.* (2003) par l'augmentation des températures en été, voire un risque caniculaire et une diminution en hiver notamment en climat tempéré. Des répercussions seraient probables sur les cycles de développements et les rendements de céréales.

Une augmentation de la température de 1,5°C d'ici 2050 en Grande Bretagne, par exemple et sans variation des pluies, serait l'équivalent d'une diminution de l'altitude approximative de 200 m. Cela correspondrait aussi, à un décalage vers le Sud des latitudes de 200 à 300 kilomètres. Une telle augmentation de la température permettrait une culture répandue du maïs dans le Sud de l'Angleterre. Dans d'autres régions tel que le continent africain, une élévation de la température ne serait probablement pas, aussi bénéfique pouvant causer la prolifération des parasites (Marçais *et al.*, 2000 ; Ogilvie, 2004).

Les périodes de gels seront plus courtes, ce qui pourrait avoir deux effets opposés selon les cultures. Pour certaines variétés de blés qui ont besoin d'un temps de repos minimum, un raccourcissement de la période de gel entraînera probablement une baisse de rendement ; en revanche, pour d'autres cultures qui en général, souffrent du gel, l'effet sera positif (Amphoux *et al.*, 2003). Le tableau 4 récapitule les scénarios de changements climatiques et leurs effets probables sur l'agriculture.

Tableau 4. Synthèse des travaux sur les changements climatiques et impacts sur l'agriculture

Facteur climatique	Effets	Impacts sur l'agriculture
--------------------	--------	---------------------------

Hausse de la température	Hausse plus importante au Nord	Décalage des cultures et rendements plus élevés au Nord, apparition de nouvelles cultures dans les plus hautes latitudes
	Prolifération de parasites	Effet nuisible sur les récoltes, possibles utilisations massives de pesticides ayant des impacts sur l'environnement
	Raccourcissement des périodes de gel	Effet positif ou négatif selon les types de cultures
	Impacts sur l'humidité et les ressources en eau	Effet négatif, risques de sécheresses, surtout au Sud
Précipitations	Variabilité accrue	Décalage des cycles de croissance des plantes, possibilités de pertes de rendement dues à une lacune ou un surcroît d'apport en eau aux mauvais moments

3. Irrigation

Source : Amphoux et al. (2003)

L'irrigation a pour but de corriger le déficit hydrique et maintenir le rendement à un niveau élevé. Les différentes recherches effectuées dans ce domaine dans divers sites du Nord du pays comme dans le reste du monde sous différents climats, ont montré que l'irrigation agit de façon significative sur l'ensemble des composantes du rendement (Oudina *et al.*, 1988 ; FAO, 2005a). Dans cette optique, Mekliche (1976) et Touati (1985) soulignent que des apports d'eaux (210 mm) au stade montaison, augmentent le rendement de 13 à 15 q/ha. Chadouli (1997) constate qu'un apport de 80 mm réparti en deux irrigations, propulse le rendement à 60 q/ha.

Le blé étant très peu irrigué en raison des étendues des emblavures et du manque d'eau, l'accroissement de la productivité ne peut s'envisager, mis à part le respect de l'itinéraire technique, que par l'amélioration et la sélection de variétés résistantes à la sécheresse ainsi, que le choix réfléchi des terroirs et climat adéquats. Il est admis qu'une variété est d'autant plus tolérante à la sécheresse, que sa production en grains est moins affectée par le déficit (Zair, 1991 ; Bouzerzour *et al.*, 2002). Ces auteurs font remarquer que les rendements faibles à l'échelle nationale, sont essentiellement liés aux variétés ou cultivars, n'ont adaptés aux milieux. Ces cultivars subissent l'effet des sécheresses surtout automnales et printanières responsables des premières composantes à savoir le semis, la germination et l'échaudage des grains. Amokrane (2001) rajoute que la valorisation des pluies, dépend de la qualité et de la longueur du cycle des variétés locales ou introduites en rapport avec les conditions climatiques. Quant à Hioun *et al.* (2002), ils introduisent l'importance du comportement des variétés de blés vis à vis des dates de semis en culture pluviale ou en irriguée, dans ces régions. Assabah (1994) fait remarquer également, qu'une meilleure utilisation de variétés adaptées aux régions et résistantes aux gelées et aux rouilles, amènerait une augmentation

d'au moins 10%. Un accroissement de production de 50% pourrait se réaliser, en dépit de l'amélioration qu'apporterait aux terres, l'irrigation ou le remembrement.

4. Sol

Les conditions de sols des régions céréalières, cas du NA, sont souvent peu favorables et leurs répartitions reflètent, le climat. Les sols bruns lessivés et les sols bruns calcaires, se répandent dans les bioclimats humide et sub-humide ; alors que les sols châtaîns et bruns isohumiques, souvent avec des accumulations calcaires en profondeur, se retrouvent dans les bioclimats semi-arides et arides (FAO, 2005). Ces sols sont à faible capacité de rétention, peu profonds, pauvres en matières organiques et en nutriments. Ils réduisent considérablement la pénétration de l'eau et des racines et donc des pluies utiles.

5. Pratiques agricoles

Les contraintes techniques et organisationnelles constituent les raisons les plus marquantes de la situation céréalière. L'application d'itinéraires techniques inadaptés aux conditions climatiques, baisse les niveaux de productivité. Le matériel végétal employé est en majorité de création très ancienne, de potentialité productive limitée et peu diversifié par rapport à la grande hétérogénéité des milieux de production (Nait Dahmane, 1987). Cet auteur relève que ces contraintes, contribuent à baisser de 37% la production. Elles constituent par ailleurs, selon Boufenar (2001) une contrainte à l'intensification réduisant le rendement de 30%. Egalement, les retards à la récolte, accentuent encore les pertes d'un rendement déjà, compromis par les lacunes précédentes. Ces pertes peuvent atteindre 30% en moyenne. La faible maîtrise de la technologie de production, oblige très souvent le recours à des importations, souvent hasardeuses (Boufenar, 2001).

6. Socio-économie

Le statut de la terre, la dimension des exploitations (70% des terres sont moins de 10 ha), le morcellement et la localisation des parcelles ainsi, que leur mode de gestion sont souvent les facteurs, qui inhibent les tentatives d'amélioration ou d'intensification de la production céréalière (RGA, 2001 et 2003). Ces conditions conduisent les petites exploitations à utiliser peu les intrants chimiques et la mécanisation. L'accès au crédit est également réduit et la volonté de minimiser les risques dus aux aléas climatiques, rend difficile la modernisation de la céréaliculture pluviale, sur la majorité des terres agricoles.

IV. Evaluation agroclimatique

La connaissance et la valorisation des facteurs agroclimatiques considérés isolément ou inter reliés, doivent être établies selon des schémas directeurs dressant l'état des lieux indispensables pour toutes recherches et interventions raisonnées (FAO, 1997 ; Alberthus et Helmut, 1997). Des concepts comme le terme régionalisation est adopté. Ce terme appréhende au mieux les recherches agroclimatiques plus fines (échelles mésoclimatiques et microclimatiques) qui se caractérisent par des séquences d'évènements, certes déterminés par la circulation atmosphérique et océanique générale, mais qui subissent aussi, les effets locaux (relief, végétation, étendues d'eau, pôles urbains) (Camberlin *et al.*, 2010). Sims (1997) fait observer que la régionalisation agroclimatique repose sur des scénarios topoclimatiques, actuels et futurs. Ces scénarios déterminent les effets, les possibilités et les stratégies d'adaptations des végétaux notamment, celles des espèces cultivées.

L'existence de données historiques, est par conséquent, un facteur indispensable pour mettre en relief la complexité du milieu naturel. Il donne à l'agroclimatologie une place et un domaine d'investigation fécond dans l'analyse des relations entre la plante et le climat dans le temps et dans l'espace (Davies, 1963 ; Choissnel, 1997). Les travaux de recherches dans ce sens, doivent reposer sur des modèles statistiques, l'existence de données et de moyens.

1. Modèles statistiques

Les modèles statistiques consacrés à l'étude du climat et de l'agroclimat, sont nombreux. Globalement, ils permettent *d'enregistrer, de classer, de synthétiser et de présenter les informations sous forme qualitative et quantitative constituant un premier résultat* (Sprenst, 1992 ; Desrosières, 1995 et Brancucci *et al.*, 1998). Ils contribuent par ailleurs, à caractériser, à évaluer et à prévoir les événements climatologiques dont, la sécheresse.

Les concepts statistiques importants auxquels font références la plupart des modèles sont :

- la moyenne qui caractérise l'ordre de grandeur des séries de mesures et qui donne une idée approximative de la valeur moyenne d'une population. $M = \Sigma n/N$;
- la variance basée sur la dispersion des observations autour des moyennes. $\sigma^2 = 1/N \Sigma (M_i - M)^2$
- l'écart type qui représente l'erreur type de la moyenne. $\sigma = (\sigma^2)^{1/2}$;
- le coefficient de variation qui représente également, une mesure fiable des séries climatologiques. $Cv = \sigma / M * 100$; M = moyenne de séries ; σ^2 = variance ; σ = écart-type ; Cv = coefficient de variation (%).

- les tests statistiques qui permettent de vérifier la validité des séries historiques ;
- les ajustements des paramètres climatiques et agroclimatiques aux lois de distribution de fréquences et de probabilités statistiques en référence à des seuils de confiances. - La régression linéaire ; - la régression polynomiale et la régression multiple qui donnent plus d'informations sur les relations entre variables indépendantes et variables dépendantes compte tenu des coefficients de déterminations (R^2) (Dagnelie, 1973) ; - l'analyse en composante principale (ACP) qui permet de classer les variables selon la proportion de variance et de coefficients de corrélations (r) ; - l'analyse factorielle en composante principale, dont le principe est proche de celui de l'ACP. La démarche permet de réduire le nombre de variable, les quelles sont classées selon les relations structurées, (r) et (R^2). Le premier représente la variation de deux variables qui vont globalement dans le même sens ou dans deux sens opposées. Le second représente le pourcentage de variance qui explique la liaison entre une variable dépendante et une variable indépendante (Badia, 1970 et Droesbeke, 1997).

2. Modèle cartographique

En climatologie comme en météorologie, pour pallier aux contraintes liées aux données, il est fait appel à des techniques d'interpolations. Ces techniques reposent sur des modèles géostatistiques basés sur des mesures ponctuelles (interpolation) ou exhaustives géo référencées, générant des informations nouvelles à des mailles régulières (Meylan, 1986 ; Le Corre, 1998 et Gratton, 2002). Les informations traduites par l'établissement de cartes d'indices agroclimatiques, donnent en tout point de l'espace la valeur de ces indices, c'est la 'spatialisation' (Tveito, 2007 et Bois, 2007). Elle est définie comme l'*ensemble de méthodes décrivant l'interdépendance de données voisines, dans un système de coordonnées typiquement cartésien*. La définition du terme 'spatialisation' est proche du terme 'cartographie'. Le terme 'spatialisation' ne se limite pas à désigner le processus d'établissement d'une carte. Il indique également, le post-traitement qui peut être fait selon Aïter *et al.* (1999) ; Bois (2007) par l'utilisation de système d'information géographique (SIG).

- Echelle

Les mécanismes de formation du climat à différentes échelles, ainsi que la variabilité spatiale et temporelle des éléments du climat, sont essentiels en agronomie (Bois, 2007). Bien que souvent, les échelles temporelles et spatiales sont liées. En effet, l'échelle détermine la taille

de l'échantillon. Une petite échelle spatiale (grandes superficies) est généralement, associée à l'étude de variation temporelle à pas de temps élevé.

Choisnel (1984) définit plusieurs échelles en climatologie. L'échelle du microclimat (100 m) ; l'échelle du topoclimat (10 km) et l'échelle du climat régional (100 km). Cependant, la classification d'échelles spatiales du climat, varie en fonction des auteurs.

Oke (1978) propose quatre niveaux d'échelles. La micro-échelle (de 10 cm à 1 km) ; l'échelle locale (de 100 m à 50 km) ; la méso-échelle (de 10 km à 500 km) et la macro-échelle (de 100 km à 100 000 km). Cette classification est plus conforme à la réalité selon Bois (2007), puisqu'elle propose la notion de chevauchement entre les différents niveaux.

Toutefois, les récents progrès réalisés en informatique facilitent de plus en plus l'intégration des informations à différents niveaux d'échelles. Ces échelles placent l'intérêt de mettre en valeur des systèmes de collectes et d'analyses de l'information spatiale et temporelle du climat, permettant d'étudier les risques encourus par les productions régionales. Dans cette perspective, Koteswaram (1974) et Durand (1997) estiment que le climat, est en partie le résultat d'un processus de mise en mémoire dont les effets, ont un impact direct sur l'évolution des cultures. Ils signalent également, que pour réaliser la mise en mémoire indispensable, il est nécessaire de faire des mesures et d'en présenter les résultats sous forme de séries de données statistiques, cartographiques analysées et classées.

La cartographie numérique développée ces dernières années dans les pays méditerranéens, est appliquée typiquement aux mesures ponctuelles, telles que la pluviométrie ou la température de l'air. Ces perspectives sont très limitées à l'échelle nationale et régionale ; alors qu'elles ont l'avantage de stocker des informations numérisées, qui pourront être traitées, reproduisant automatiquement sous forme de documents cartographiques, la bioclimatologie et l'agroclimatologie du pays.

- Techniques d'interpolations

Les techniques d'interpolations spatiales des données sont nombreuses. Elles peuvent être classées en trois groupes : les méthodes déterministes, probabilistes ou stochastiques et mixtes.

Parmi les méthodes stochastiques, les techniques de régressions classiques, de régressions locales et de krigeage, ont été listées. Contrairement aux méthodes déterministes, elles incorporent le concept du hasard. Elles proposent un modèle probabiliste incluant un ou des termes d'erreurs aléatoires pour formaliser le comportement du phénomène naturel à l'étude.

Les modèles tiennent compte de méthodes statistiques comme le krigeage, une technique basée sur la structure de la variance spatiale et les méthodes d'interpolations linéaires géométriques. C'est le cas des méthodes Thyssen. D'autres sont basées sur l'analyse multivariée de régression, elles prennent en compte les paramètres topographiques du domaine à étudier (Gratton, 2002). Chacune de ces méthodes, présente des caractéristiques particulières qui s'adaptent à chaque type de données à spatialiser. Elles sont autant utilisées pour l'interpolation que l'extrapolation.

La méthode de krigeage est développée (Krige, 1950) pour déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. Mais, l'approche a été formalisée par Matheron (1962), qui a été le premier à utiliser le terme *géostatistique* pour désigner la modélisation statistique de données spatiales. Quant à Gandin (1965) in Gratton (2002), il a introduit la notion objective pour décrire cette approche basée sur la corrélation, et qu'il a nommé *interpolation optimale*. C'est le nom sous lequel la méthode est connue en météorologie. Souvent les données climatiques sont régionalisées par cette méthode cartographique. L'approche aboutit à la modélisation statistique de données spatiales ponctuelles.

La méthode de krigeage se distingue des autres méthodes telles les splines ou les inverses de la distance, par ces caractéristiques d'estimation non biaisée et de l'évaluation d'une variance associée.

Les composantes de la démarche ne seront pas présentées, car souvent, elles sont assistés par ordinateur pour la saisie, le stockage et la gestion de base de données, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées géographiquement. De plus, l'objectif de l'étude concernée, porte essentiellement sur la mise au point d'une méthodologie permettant tous d'abords, de dresser l'état des lieux des données historiques climatiques et agricoles ; suivie de leurs évaluation dans le temps et dans l'espace, à travers les modèles et les définitions référencés. La démarche contribuerait à éclairer la situation agroclimatique de la céréaliculture pluviale au Nord de l'Algérie, basée sur la pluviométrie, principalement et de la température, secondairement.

Conclusion

La synthèse bibliographique réalisée sur la céréaliculture et son environnement agroclimatique, permet de mieux orienter la présente recherche, établie sur des séries historiques des facteurs climatiques comme la pluie et la température et des séries des productions et de rendements annuels.

Chapitre 2

Matériels et méthodes

I. Aire d'étude

1. Limite

L'aire d'étude couvre le Nord de l'Algérie (NA), située entre les latitudes 32° et 37° Nord et les longitudes -2° et 9° Est. Elle s'étend sur 35,9 millions ha, soit 17% du territoire national subdivisé en trois régions (figure 3) : la région Est (RE), la région Centre (RC) et la région Ouest (RO).

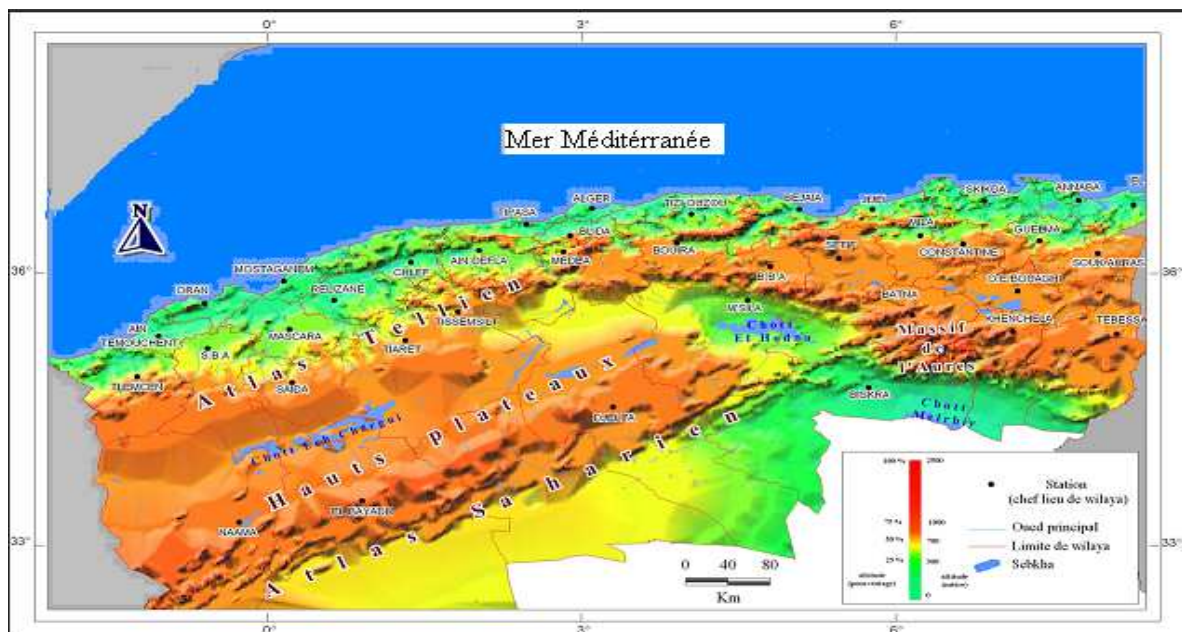


Figure 3. Localisation géographique de l'aire d'étude.
échelle 1/40 000 000.

La RE représente 36% du total de l'aire d'étude et comprend 16 wilayas, celles côtières et sub-côtières souvent montagneuses, cas d'El Taref, Skikda, Annaba, Jijel, Bejaia, Mila, Constantine, Guelma ; et celles des hauts plateaux telliens, comme Oum el Bouaghi, Bordj Bou arreridj, Sétif, M'sila, Souk-ahras, Batna, Khenchella, Tébessa, Biskra plus au Sud.

La RC avec seulement 9 wilayas, couvre 17% de l'aire d'étude. Elle représente les wilayas de Boumerdes, Alger, Tipaza, Tizi-Ouzou, Blida, Médéa, Bouira, Ain Defla, Djelfa. Les wilayas montagneuses, situées à quelques dizaines de kilomètres de la côte méditerranéenne, se distinguent par davantage de pluies (Tizi Ouzou, Médéa).

La RO, la plus vaste, s'étend sur 47% de la superficie totale, elle est composée de 13 wilayas, cas de Chellif, Oran, Mostaganem, Ain Timouchent, Tissemsilt, Relizane, Sidi Bel Abbés, Tlemcen, Mascara, Tiaret, Saida, Naama, El Bayadh.

L'étendue d'étude compte globalement 38 unités territoriales, limitées administrativement en wilayas de proportions variables, Alger la moins vaste avec 80 900 ha soit 1,3% de la RC et la plus étendue El Bayadh avec 7 887 000 ha soit 46,7% de la RO.

2. Caractéristique

Le NA est représentée d'Est en Ouest par un ensemble de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux ainsi, que de plaines fertiles. La pente évolue entre 2% et 45% (FAO, 2008) avec une altimétrie de quelques mètres au niveau du littoral et qui culmine à 2 328 m au niveau des massifs de Kabylie et des Aurès, à l'Est du Pays.

La RE, relativement montagneuse, est constituée du Nord au Sud de chaînes telliennes dominées par les Monts du Hodna, des Aurès et de Nemenchas.

La RC, de faible superficie, est un ensemble de massifs représentés par le Zaccar, l'Atlas Blidéen et le Djurdjura dont les terres ont une pente, qui évolue entre 10% et 30%. La bordure littorale est installée dans une dépression qui forme la plaine fertile de la Mitidja.

La RO, davantage plus vaste, est ordonnée en massifs alternés, d'altitude moyenne, dominée par de basses plaines.

Au Sud de ces régions, les hautes plaines steppiques, où est consacrée surtout l'activité pastorale, représentent les limites de l'agriculture pluviale, dominée par la céréaliculture.

II. Céréaliculture pluviale

La céréaliculture pluviale au Nord du pays, est composée de blé dur (BD), de blé tendre (BT), d'orge (OR) et d'avoine (AV). Elle occupe selon les critères écoclimatiques, le Tell au nord et les Hautes Plaines au sud (Pionnier, 1937 ; Baldy, 1974 ; Le Houérou, 2005). Son évolution à travers les temps à l'échelle régionale semble difficile à évaluer, en raison des différents découpages administratifs (trois) opérés depuis 1962 à ce jour. Ces découpages font passer le nombre de wilayas de 15 en 1966 à 31 en 1973 et à 48 en 1984. Le nombre de communes est passé de 670 à 703 et enfin à 1 541. Aussi, l'agriculture algérienne connaît depuis l'indépendance, plusieurs recensements provoquant des incidences spatio-temporelles dans les informations statistiques des régions productrices. Le recensement général de 1973 traduit des modifications significatives des structures agraires, auxquelles se retranchent les terres agricoles versées au profit de l'urbanisation (RGA, 2001 ; 2003). Ces restructurations territoriales rendent difficile la maîtrise des statistiques agricoles et limitent le champ d'investigation du milieu céréalier, dans le temps et dans l'espace.

- Superficies, productions et rendements

Les données de surfaces agricoles utiles (SAU) en hectare (ha), de superficies emblavées (S_e), de productions (P_r) et de rendements (R_d) céréaliers à l'échelle annuelle, sur la période (1936-1973) et (1973-2007), a permis de retracer l'évolution moyenne de la céréaliculture pluviale. Cette évolution considère les bassins versants dont les limites coïncident avec celles du découpage administratif des wilayas céréalières.

Les données statistiques relatives à la période (1936-1973) sont saisies à partir des documents d'archives et celles relatives à la période (1973-2007), sont saisies à partir des bulletins statistiques agricoles (BSA). Ces dernières sont spécifiques à chacune des wilayas céréalières comprenant le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine.

L'inexistence de la représentation cartographique de la céréaliculture à l'échelle du territoire, a constitué une contrainte pour cette étude. Ce manque est pallié en calculant en pourcent (%) les surfaces de la SAU et celles emblavées en référence aux moyennes pluviométriques caractéristiques, de chaque wilaya. Ces données retracent les moyennes régionales et les moyennes par wilaya sur les périodes d'études.

Les données agricoles sont en effet, analysées à l'échelle temporelle, spatiale et spatio-temporelle.

III. Sol

Les conditions pédologiques qui caractérisent les régions céréalières, sont souvent peu favorables et la répartition de leur zonation reflète le climat. Les sols sont en majorité bruns lessivés et bruns calcaires dans les régions humides alors qu'ils sont châtains et bruns isohumiques avec des accumulations calcaires en profondeur dans les régions sèches (FAO, 2005). Ils sont peu profonds, pauvres en matières organiques et en nutriments et se distinguent par une faible capacité de rétention, réduisant considérablement la pénétration de l'eau et des racines et donc des pluies utiles.

IV. Climat

1. Pluviométrie

1.1. Réseau de stations

Les données de pluies brutes appartiennent au réseau de stations météorologiques de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM) et à celui de l'Agence Nationale de la Ressource Hydraulique (ANRH). Ces réseaux englobent 76 stations constituant un ensemble très hétérogène. Qu'elles soient en régions montagneuses ou dans les vastes plaines, les stations sont inégalement, distribuées sur le territoire. Un taux de 41% de stations, est installé dans la RE, 22% dans la RC et 37% dans la RO. La densité moyenne est de 0,21 station pour 100 000 ha, soit 2 pour 1 million ha.

1.2. Données

Les séries pluviométriques par station sont recueillies sur des périodes hétérogènes. Elles dépassent le siècle pour certaines (1900-2007), notamment celles des stations localisées dans les grandes villes, dotées d'un aéroport ; elles avoisinent le demi-siècle pour d'autres. Certaines séries présentent des lacunes assez importantes nécessitant une reconstitution et une homogénéisation des données ; elles reflètent pour la plupart les années 40, 50 et 90 (tableau 5).

Tableau 5. Ruptures observées dans les séries des stations de la RE à la RO, sur la période de 71 ans (1936-2007).

Régions	Stations	Ruptures	Stations	Ruptures
Est	Skikda	1957-1959	Guelma	1992-2000
	Jijel	1940-1949	Om El Bouaghi	1956-1958
	Bejaia	1939-1940; 1993-1995	Batna	1997-2000
	Bordj Bou Arreriedj	1945-1953	M'sila	1983-1986
Centre	Tipaza	1974-1980	Blida	1941-1952
	Bouira	1996-2001		
	Mostaganem	1950-1961	Tissemsilt	1967-1974

Ouest	Ain Timouchent	1954	Tlemcen	1938-1943
	Relizane	1955-1961	Tiaret	1987-1990
	Mascara	1940-1945	Naama	1978-1998
	Sidi Bel Abess	1971-1974	El Bayadh	1940-1947

1.3. Pas de temps

Les séries pluviométriques sont extraites à l'échelle journalière (24 heures). Cette échelle étudie selon Ali (2004) et Van Vyve (2006) rigoureusement le régime pluviométrique dont les variables se présentent comme des objets individuels, facilement identifiables et dotés de caractéristiques stables dans le temps et dans l'espace. Elles représentent des hauteurs d'eaux intégrant la distribution spatio-temporelle.

Le pas de temps choisi, permet de repérer les lacunes inhérentes aux informations ponctuelles de l'année, de septembre à août et de sélectionner la période d'étude. Il sert par ailleurs, à diagnostiquer le début et la fin de la saison des pluies à travers la notion de jours pluvieux (jp), de jours secs (js) et des volumes précipités à l'échelle annuelle (P_A), mensuelle (P_M) et décadaire (P_D). Ces échelles sont obtenues par sommation de données journalières. En conséquence, ce pas de temps contribue à définir les probabilités d'occurrences des pluies, les périodes (année, mois) et les séquences sèches (décadaire).

1.4. Modélisation statistique

1.4.1. Reconstitution des données

La reconstitution des lacunes inhérentes aux séries pluviométriques de septembre à août a nécessité deux étapes.

- Etape 1

Cette étape est basée sur les données des archives de l'ONM et de l'ANRH. Elle tient compte des coordonnées latitudinaux, longitudinaux et altitudinaux, de l'historique de chaque station et du type d'appareillages de mesures utilisés, par chaque organisme. La distance qui sépare les stations, varie de 10 à 70 km représentant un même régime climatique selon la définition de Thom (1972) et Guiot (1984). Des régressions multiples sont réalisées entre les séries pluviométriques, en particulier celles situées à proximité du littoral (Skikda, Jijel, Bejaia, Tipaza, Ain Timouchent) et du sublittoral montagneux (Guelma, Blida, Tlemcen). La méthode considère les séries complètes comme références tel que le cas, des séries des stations de Constantine, de Sétif, d'Annaba, d'Alger, de Djelfa et d'Oran pour interpoler les

valeurs manquantes des séries incomplètes. Cette méthode déjà utilisée par Chaumont et Paquin (1972) et par l'ANRH (1993), assure la linéarité des séries nouvelles.

Un travail préliminaire de sélection, de comblement et de vérification des séries de données, est opéré sur la période (1936-2007). Les données antérieures à 1936, irrégulièrement incomplètes ont été évacuées de la sélection. La période triée est successive à la période (1913-1938) utilisée par Seltzer (1949) et chevauche celles de (1922-1963) et (1922-1989), utilisées par Chaumont et Paquin (1972) et l'ANRH (1993).

- Etape 2

Cette étape s'appuie sur le modèle Arima qui utilise la méthode de Box et Jenkins (1976). Son choix est lié au manque de stations proches les unes des autres, dans les wilayas caractéristiques des Hautes Plaines, cas des stations de Bordj Bou Arreiredj, Batna, Oum El Bouaghi et M'Sila dans la RE ; celles de Bouira dans la RC et celles de Mascara, Sidi Bel Abbess, Relizane, Tiaret, Naama et El Bayadh dans la RO. La méthode utilisée pour reconstituer des séries temporelles pluviométriques (Naylor et Seaks, 1972 ; Thabet *et al.*, 2005), repose sur la régression linéaire. Elle considère que les données des séries, sont statistiquement indépendantes les unes des autres et néglige l'influence des variables explicatives (topographie et géographie) sur les variables à expliquer (pluviométrie). Les nouvelles variables sont estimées en considérant deux valeurs de mesures successives soumises à l'effet temps, selon un processus itératif (Dubois, 2005). Ce dernier évalue les paramètres de l'auto-régression (p) et de la moyenne mobile (Q). Le modèle est validé par l'auto-corrélation et l'erreur type (ErrT). Des données sont générées sur l'ensemble des séries à partir des données d'origines, en préservant leurs chronologies.

Les logiciels Dbase, Excel, Hydrolab et Statistica version 6 ont permis de faciliter les calculs, de contrôler, d'analyser et de générer des séries nouvelles, continues et fiables à l'échelle annuelle, mensuelle et décadaire, sur 71 ans (1936-2007).

1.4.2. Chaîne de Markov

L'évolution des pluies sur la période (1936-2007) par wilaya céréalière et par région, est abordée par le modèle stochastique dont l'approche repose sur la chaîne de Markov d'ordre 1. Cette approche permet d'établir des fichiers de pluies journalières (PJ), décadaires (P_D), mensuelles (P_M) et annuelles (P_A) ainsi, que des fichiers pluviométriques de synthèses selon des conditions fixées à l'avance. Ces conditions consistent à inventorier à chaque pas de temps, les jp, les js, les couples (jp, js) et (js, jp) ainsi, que la répartition des quantités de

pluies caractéristiques des séries chronologiques. Ces quantités représentent des seuils de pluies supérieures ou égales à 0,1 ($P_{\geq 0,1\text{mm}}$), 5 ($P_{\geq 5\text{mm}}$), 10 ($P_{\geq 10\text{mm}}$), 20 ($P_{\geq 20\text{mm}}$) et 30 mm ($P_{\geq 30\text{mm}}$). Les séries chronologiques reflètent ainsi, deux états : un état pluvieux représenté par le chiffre (1) et un état sec symbolisé par le chiffre (0). Le chiffre (1) est donné pour toutes les valeurs de pluies égales ou supérieures aux seuils pluviométriques, définis à l'avance et le chiffre (0) est donné pour toutes les valeurs inférieures, à ces seuils. Les matrices des séries de pluies nouvellement conçues, ne comportent alors que les valeurs égales à un (1) et à zéro (0). Ce processus permet de déterminer la sécheresse conditionnelle au cours de l'année en rappelant que pour une chaîne de Markov d'ordre 1, l'état de la variable (pluie) à l'instant (t) ne dépend que de son état à l'instant ($t-1$). Le processus de la loi est déterminé par les probabilités initiales et les probabilités de transitions (Isoz, 2010).

La démarche suivie, a donné d'assez bons résultats, appliquée à la P_M et à la P_D en Afrique Centrale (Léonard, 2001 et Van Vyve, 2006) et en Afrique de l'Ouest (Davey *et al.*, 1976 ; Sivakumar, 1991 ; Sivakumar *et al.*, 1993 ; Chaouch et Parent, 1999). Elle a donné également, des résultats rigoureux, appliquée à la pluviométrie du réseau pluviométrique français (Galloy *et al.*, 1982) ainsi, qu'aux pluies mensuelles, saisonnières (Bergaoui, 1983) et annuelles, en Tunisie (Benzarti et Habaieb, 2001). La même approche a été utilisée pour les données de la station de Dar El Beida, par Dechemi *et al.* (2000) pour déceler les éventuels changements du régime pluviométrique au littoral algérien.

1.4.3. Seuils pluviométriques

Les seuils pluviométriques retenus ($P_{\geq 0,1\text{mm}}$, $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$), sont en relation avec le climat local et les premières pluies qui surviennent habituellement en période d'automne, après trois mois de sécheresse (Juin, juillet et Août), comme le propose Ntombi (1982). Mais également, en renvoi à la définition de Heathcote (1973) et El Hassani (2008) qui différencient clairement, la sécheresse météorologique de la sécheresse agricole en référence à des valeurs seuils dans le temps et dans l'espace.

Le seuil pluviométrique de 0,1 mm est retenu pour caractériser les pluies météorologiques ou les pluies climatiques moyennes (annuelle, mensuelle et décadaire) sur la période (1936-2007) ; et les éventuels changements opérés dans le temps et dans l'espace.

Le seuil minimum de 5 mm situe la journée pluvieuse sur le plan agricole. Ce seuil permet par ailleurs, de caractériser les pluies agricoles et donc le climat agricole.

Les seuils de 10, 20 et 30 mm sont retenus pour donner une idée de la satisfaction des besoins en eau des céréales. Le dernier seuil est également, retenu en référence à l'efficience

d'utilisation du modèle qui repose sur le paramètre de forme (k) de la série pluviométrique. Au-delà de 60 mm, la plupart des séries pluviométriques notamment, celles qui caractérisent les wilayas semi arides et arides, enregistrent des coefficients (k) très faibles et mêmes négatifs. Ces coefficients témoignent de la faiblesse et même de la rareté des pluies supérieures à 60 mm, ce qui justifie la limite pluviométrique supérieure, prise en considération.

Les calculs laborieux sont facilités par l'utilisation du logiciel Instat version 3.7, bien adapté au calcul d'événements climatiques (Sivakumar *et al.*, 1993).

- Echelle annuelle

L'analyse de la pluie annuelle selon la démarche citée, repose sur cinq hypothèses. La première caractérise la meilleure occasion de recevoir à partir du mois de septembre à août les $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, annuellement, sur la moyenne de 71 ans. La seconde, la troisième, la quatrième et la cinquième hypothèse caractérisent respectivement les meilleures occurrences d'enregistrer à partir du même mois les premières $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$ annuellement, sur la même période.

Ces hypothèses contribuent à analyser les tendances moyennes des pluies, sur la base des moyennes mobiles pondérées (chaîne de Markov d'ordre 1). Ces moyennes considèrent chaque pluviométrie comme la somme d'une variable aléatoire et d'un polynôme fonction de l'ensemble des observations antérieures (Grouzis et Albergel, 1998). Les tendances pluviométriques obtenues, expriment l'écart (E_t) ou les écarts pluviométriques par rapport à la moyenne générale, soit le rapport moyen à la normale. Ce rapport est exprimé mathématiquement comme suit : $E_t (\%) = (P_{Amm} / P_{AMmm}) * 100$. Il reflète les tendances ou phases stationnaire, humide ou sèche en liaison avec les années productives et moins productives.

L'évolution de la pluviométrie est illustrée aux pas temporel, spatial et spatio-temporel. L'analyse prend en compte l'échelle de l'aire d'étude ainsi, que l'échelle régionale.

- Echelle mensuelle

A l'échelle mensuelle, l'analyse des pluies permet davantage de définir la répartition du nombre de jp, du nombre de js ainsi, que les volumes cumulés mensuellement de S à Ao. Ces cumuls contribuent à caractériser le début et la fin des pluies caractéristiques de la saison pluvieuse, en référence aux hypothèses émises.

La première hypothèse caractérise la meilleure occurrence pour chaque mois (septembre à juin) de recevoir les premières $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, sur la moyenne de la période considérée. La seconde, la troisième, la quatrième et la cinquième hypothèse caractérisent respectivement les meilleures occurrences de recevoir durant tous les mois, les premières $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$, sur la même période. A ce sujet, Ntombi (1982) souligne que cette hypothèse n'est pas sans conséquence comme celles liés aux caractères erratiques des premières pluies, ou à l'évaluation de la valeur minimale à utiliser comme critère pour la lame d'eau précipitée (CRET, 1993). Ces caractéristiques permettent d'évaluer la tendance des pluies mensuelles sur la base de la moyenne mobile.

- Echelle décadaire

La pluie décadaire estime davantage, les volumes cumulés par décade ainsi, que la date d'installation des pluies et de la fin des pluies dans chaque wilaya céréalière en relation avec la définition de j_p et de j_s .

La première hypothèse caractérise la meilleure occurrence pour chaque décade (septembre à juin) de recevoir les premières $P_{\geq 0,1\text{mm}}$. La seconde, la troisième, la quatrième et la cinquième hypothèse caractérisent respectivement les meilleures occurrences de recevoir durant toutes les décades, les premières $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$, sur l'année moyenne. Ces caractéristiques analysées par la chaîne de Markov (moyennes mobiles), évaluent davantage la tendance des pluies décadaires, au cours de l'année agricole ou céréalière.

1.4.4. Indices de sécheresses

- Echelle annuelle

La sécheresse annuelle est calculée en plus du rapport moyen à la normale, par l'indice pluviométrique de sécheresse de Nicholson *et al.* (1988) et de l'indice de probabilités d'occurrences des années sèches et des années humides. Le premier évalue le changement des moyennes en calculant les écarts pluviométriques (E_p) caractéristiques des années humides (écart positif (E_{p_p}) ou excès), des années proches de la moyenne (ou la normale, écart ≈ 0) et des années sèches (écart négatif (E_{p_n}) ou déficit). Le second basé sur la loi normale, introduit la notion de non dépassement (P_n), et qui est exprimée selon Doorembos et Pruitt (1986) et Ancy *et al.* (1999) par le temps de retour (Tr) : $Tr=1/(1-F)$. Les données de pluies de chaque station, sont classées dans un ordre croissant, puis partagées en classes selon une amplitude

pluviométrique de 50 mm. Les classes pluviométriques correspondent à des situations très humide, humide, normale, sèche et très sèche par rapport à la moyenne. Les probabilités de non dépassement (P_n) des hauteurs pluviométriques retenues sont : [1-20]%, [20-40]%, [40-60]%, [60-80]% et [80-100]%.

Les indices utilisés, contribuent par ailleurs, à estimer les écarts (%) des $P_{\geq 5\text{mm}}$, en référence aux $P_{\geq 0,1\text{mm}}$. Ces écarts qui sont positifs (ou gain : E_{pp}) et/ou négatifs (ou déficits : E_{pn}) contribuent à décrire le climat, où s'étend annuellement, la céréaliculture pluviale. Ils contribuent, également à évaluer les potentialités pluviométriques en rapport avec les sécheresses qui frappent le Nord du pays.

- Echelle mensuelle

L'évolution des données de P_M (quantités, j_p , j_s), est basée sur les valeurs de moyennes (P_{Mm}), de minimums (P_{Mn}) et de maximums (P_{Mx}). Ces paramètres statistiques utilisés souvent pour quantifier la variabilité spatio-temporelle des pluies, sont appuyés par le calcul de l'indice de Nicholson *et al.* (1988) et par le calcul des probabilités d'occurrences des pluies, estimés aux seuils moyens de 20%, 30%, 50% et 80%. Ces probabilités dérivées de données historiques, estiment les volumes mensuels moyens en relation avec le début et la fin des pluies significatives (Stern, 1982 et CRET, 1993). Ces grandeurs contribuent à évaluer les sécheresses mensuelles en comparaison aux besoins en eau de la céréaliculture pluviale, tels qu'ils sont définis par Baldy (1974) dans les wilayas cérésières du NA.

- Echelle décadaire

Les limites supérieures et inférieures de l'humidité disponible dans la plupart des sols du NA, étant inconnues, les données de pluies (j_p , j_s , quantités) par décade et par année, permettent de calculer avec plus de précision les probabilités d'occurrences des pluies significatives (20%, 30%, 50% et 80%). Ces probabilités sont en relation avec la définition des séquences sèches, lesquelles sont calculées en fonction du temps d'attente jusqu'au prochain jour humide, comme la suggéraient Hills et Morgan (1981) ; Sivakumar (1991).

Le calcul des séquences sèches, prend en compte le début, la fin des pluies et la longueur de la saison des pluies. Ces facteurs reproduisent la sécheresse qui condamne fréquemment la production cérésière pluviale. L'analyse recherche les décades ou séquences de jours pendant lesquels, il est recueilli une quantité de pluie inférieure aux seuils fixés de plus 5, 10, 20 et 30 mm. Il s'agit de la sécheresse climatique, les seuils considérés sont en relation avec la résistance de la culture cérésière à une durée de sécheresse fixée à l'avance. Cette durée est

estimée à 5, 10, 15 et 20 jours en rapport avec ces besoins en eau. Ces séquences sont calculées aux niveaux de probabilités de 20%, 30%, 50% et 80%, afin de confirmer les volumes pluviométriques disponibles en relation avec les phases d'élaboration du rendement de la culture céréalière, dans le temps et dans l'espace.

1.4.5. Date de semis

Le calcul des dates de semis est fixé en entrée en tenant compte des cumuls de débuts de pluies sur les 30 jours, avant la date de début de simulation, méthode des seuils. Ces seuils qui estiment la planification des opérations agricoles, évaluent le stock d'eau dans les 15 premiers cm du sol durant 5, 10, 15 et 20 jours. Le calcul tient compte de l'évaporation estimée en moyenne, à 40% pendant la période située entre la date de début des calculs et la date de semis. L'évaporation du sol correspond à la demande climatique et sa durée dépend du type de sol (Brisson et Seguin, 1991). Les calculs sont réalisés par le logiciel Instat. Le modèle utilisé, recherche la première date possible pour réussir un semis selon un stock d'eau supérieur à 5 mm en une décade. Lorsque cette condition n'est pas remplie, le modèle étudie une autre date de semis pour la quelle la somme des pluies de la décade considérée, est supérieure à 10 mm. Le test de réussite du semis est répété pour des cumuls de 20 et 30 mm. L'adéquation entre la date de semis d'une variété et la date d'arrêt de la saison des pluies est un caractère explicatif essentiel de la productivité des céréales (Kouressy *et al.*, 2005).

La simulation de chaque date a généré un ensemble de séquences climatiques (occurrence de pluie) pour chaque année agricole. La distinction entre les dates obtenues, est vérifiée par le test de Student selon les hypothèses suivantes :

H_0 : Les deux dates sont identiques (provoquent des événements climatiques identiques) ;

H_1 : Les deux dates sont différentes (différence entre les événements) ; avec un $DDL=N_1+N_2-2$ (N_1 : la taille du 1^{er} groupe des dates ; N_2 : la taille du 2^{em} groupe des dates ; $T_{critique} = 1,73$ au niveau de signification 0,05).

1.5. Modélisation cartographique : Régionalisation

Les paramètres pluviométriques de jp, de js et des pluies annuelles et mensuelles aux seuils supérieurs de 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm, sont régionalisés par la méthode cartographique de krigeage (Krige, 1950). L'approche prend en compte l'ajustement statistique de la répartition de chaque paramètre, en ajustant des surfaces aux différentes valeurs régionalisées, classées en 5 catégories. La catégorie 1, réunit la somme des $P_{\geq 0,1mm}$; la catégorie 2, englobe la somme des $P_{\geq 5mm}$; la catégorie 3, récapitule la somme des $P_{\geq 10mm}$; les catégories 4 et 5 représentent

respectivement les sommes des $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$. Ces surfaces reflètent les différentes valeurs de données (jp, cumul pluviométrique) associées, à des valeurs simulées. L'interpolation est réalisée par le logiciel Surfer version 7. Des aires statistiquement homogènes sont évaluées en hectares. Ce modèle est largement conseillé pour interpoler la pluviométrie dans un cadre de modélisation climatique ou hydrologique (Meylan, 1986 ; ENRICH, 2001 et Gratton, 2002). Il considère les coordonnées latitudinaux et longitudinaux. Ces facteurs ne sont cependant, que des artéfacts (Marand et Zumstein, 1990) qui occultent d'autres paramètres responsables de la pluie comme, le facteur altimétrique qui constitue un élément prépondérant en milieu montagneux.

La régionalisation de la P_A et de la P_M par cette démarche, permet de visualiser spatialement la pluviométrie météorologique et agricole de chaque région du NA.

- Echelle

En raison de la vaste superficie de la région d'étude et surtout de l'absence de données agroclimatiques sur un maillage très fin, l'échelle de travail a été le 1/1 000 000.

2. Température

Les stations climatiques prises en considération dans l'aire d'étude, mesurent en plus du paramètre pluviométrique, le paramètre thermique. Les séries de ce facteur, caractérisent des périodes hétérogènes d'où le choix également, d'une période commune (1936-2007) à l'ensemble des stations des wilayas céréalières. Ce facteur est essentiellement, mesuré dans les stations principales de l'ONM. Des stations nouvelles sont installées ces dernières années, mais les séries observées étant courtes (ne dépassent pas sept à dix années), elles ont été éliminées de l'étude.

2.1. Modélisation statistique

Les séries de données de températures moyennes (T_m), minimales (T_n) et maximales (T_x) n'ont subi aucun contrôle, partant de l'hypothèse que ce facteur varie peu dans le temps.

Le choix de la période d'étude ainsi, que les modèles statistiques utilisés, permettent d'évaluer ce facteur dans la RE, la RC et la RO du NA en portant l'accent sur :

- les moyennes annuelles, mensuelles et décadales dans le temps et dans l'espace ;
- les moyennes des minimas et des maximas ;
- les moyennes cumulées en référence aux besoins thermiques des céréales annuellement, mensuellement et décadaire-ment.

La démarche suivie est liée à celle de la pluviométrie.

3. Pluviométrie - température

L'analyse des régimes pluviométriques associés à celui des températures, permet de récapituler les potentialités pluvio-thermiques annuelles des régions céréalières. Elle permet aussi, d'approcher à l'échelle mensuelle ou décadaire la période où l'humidité et la température conviennent au mieux, au développement des céréales pluviales de l'Est à l'Ouest. Cette période qualifiée de la LGP, comprend le nombre de jours où les températures moyennes sont supérieures à 5°C et même à 6,5°C avec des conditions d'humidité jugées appropriées (FAO, 2000 ; ICARDA, 2000 ; Chaise *et al.*, 2005 ; Balloffet, 2009).

La détermination de La LGP, contribuerait approximativement à définir la longueur des cycles des cultures, et donc contribuerait au calcul du potentiel agricole et au classement des zones (Gommes et Hoefsloot, 2006).

V. Agroclimatologie

1. Céréaliculture - pluviométrie

L'évolution dans le temps et dans l'espace des pluviométries avec les productions et les rendements annuels de la céréaliculture pluviale, est analysée sur la base de lois de régressions (régression linéaire) qui sont indépendantes des valeurs centrales (moyenne et médiane). Ainsi, les $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$ sont classées selon un ordre croissant. La classification tient compte du test de Spearman, utilisé généralement pour définir la tendance de variables aléatoires à un intervalle de confiance de 95% (Sprent, 1992). Les coefficients de corrélations tiennent comptes des estimations de probabilités des séries ordonnées (FAQ, 2004). Ils mesurent la significativité, l'existence et l'intensité de liaisons entre les séries considérées. Les pentes de régressions établies, sont assimilées selon Latiri (2006) à l'efficacité d'utilisation de la pluviométrie.

2. Céréaliculture - température

La même démarche a été utilisée pour évaluer l'impact des températures sur l'évolution des productions et des rendements céréaliers, dans le temps et dans l'espace.

VI. Autres facteurs climatiques

Dans l'aire d'étude, l'enregistrement des facteurs du climat tel que le vent, l'insolation, l'humidité et le sirocco, est limité à quelques rares stations d'où la difficulté d'analyser l'évapotranspiration potentielle, au NA. Ce facteur permettrait de synthétiser au mieux l'impact des paramètres du climat, sur la productivité céréalière.

Chapitre 3

Résultats et interprétations

Partie I. Céréaliculture

Partie II. Climat : Pluviométrie et Température

Partie III. Agroclimatologie

Partie I. Céréaliculture

I. Céréaliculture

L'évolution des superficies emblavées, des productions et des rendements céréaliers dans le temps et dans l'espace, est analysée globalement puis par culture (blé dur, blé tendre, orge et avoine).

1. Superficie emblavée

1.1. Echelle temporelle

La surface moyenne occupée en céréales au NA, s'établit à 3 millions ha (1936-2007). Elle a chuté à un minimum de 1,2 million durant l'année 1993/1994, en revanche elle a grimpé à un maximum de 3,8 millions en 2001/2002. L'évolution de ces valeurs lissées par une courbe sinusoïdale, sépare quatre phases (figure 4).

La première caractérise les années (1930-1950). La deuxième reflète les années (1950-1973). La troisième et la quatrième indiquent respectivement les années (1973-2000) et (2000-2007). Les surfaces au cours de ces phases, évoluent entre 2,8, 2,9, 2,8 et 2,9 millions ha, soient des écarts qui fluctuent alternativement entre -3%, +3, -1% et +1%. Ces chiffres font abstraction des fluctuations d'une année à l'autre.

Les écarts négatifs enregistrés au cours de la première et de la troisième phase, sont liés surtout à des gouvernances instables et déficientes (période de colonisation et plusieurs réformes agraires).

Au cours des différentes phases, les superficies emblavées sont résumées par décennie. Ces dernières montrent plus clairement les décennies où les surfaces sont en baisses et celles où elles connaissent désormais, une alternance d'écarts négatifs et positifs.

En outre, les années où les S_e en céréales restent inférieures à 2,5 millions ha ou en excèdent 3,5 millions ne représentent respectivement que 5 et 27% de la série. Il faut néanmoins signaler que les surfaces récoltées sont le plus souvent inférieures à celles cultivées. Cette différence rarement répertoriée dans les données statistiques, est attribuée à la mauvaise qualité du travail du sol, à l'utilisation de variétés non performantes, aux techniques archaïques et au matériel vétuste. Le manque de traitement et de fertilisation, conjugué à la nuisibilité des mauvaises herbes aboutit à des surfaces ayant une production quasi nulle et de ce fait, non comptabilisée. Ces tares combinées aux aléas climatiques néfastes telles que les années 1959/1960, 1996/1997, suffisent à rendre compte de la médiocrité des résultats.

Statistiquement, les écarts caractéristiques du NA, restent assez faibles (<10%) sur 71 ans.

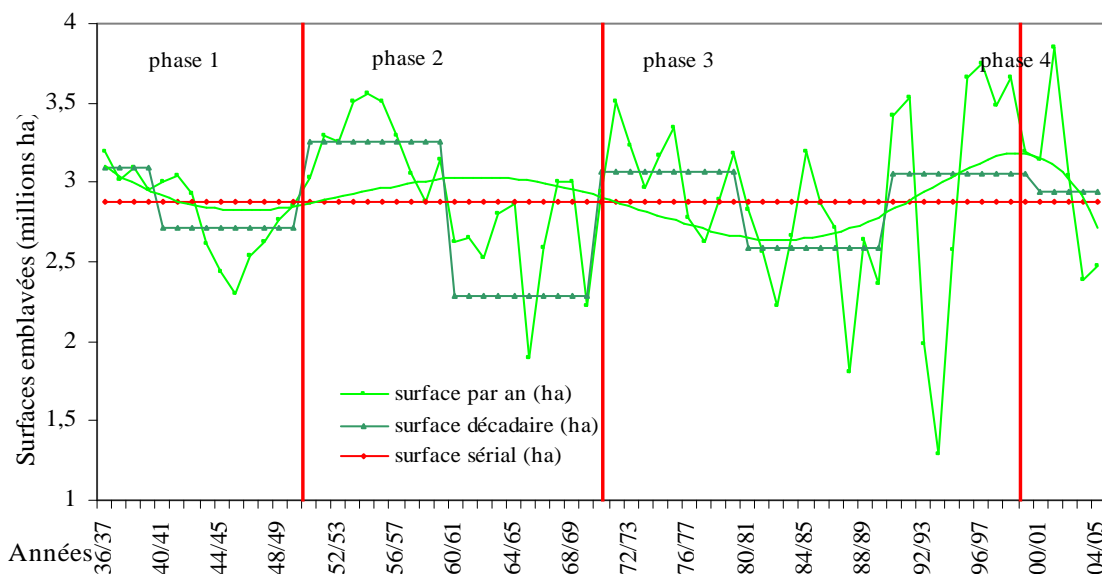


Figure 4. Superficies moyennes emblavées annuellement, sur la série de 71 ans (1936-2007).

1.2. Echelle spatiale

L'organisation des wilayas selon un gradient Est-Ouest, relève une augmentation des surfaces emblavées à l'échelle régionale (figure 5). Les emblavures enregistrées annuellement par

wilaya, fluctuent autour de la moyenne estimée à 76 344 ha. Cette valeur distingue un E_t moyen de +9% dans la RE et de -46% dans la RC, il atteint +21% dans la RO.

La RE avec 16 wilayas, enregistre la S_e la plus élevée, 1 331 023 ha. Le minimum de 14 332 ha est enregistré à Jijel, wilaya littorale et montagneuse et le maximum de 162 438 ha est octroyé pour Sétif, wilaya continentale et relativement plane.

La RC avec 7 wilayas seulement, transcrit les S_e les plus faibles, 373 758 ha. Le minimum est de 8 351 ha, il caractérise la wilaya d'Alger et le maximum est de 120 503 ha déterminant la wilaya de Médéa.

La RO où le nombre de wilayas est de 14, enregistre une S_e aussi élevée que la RE. De l'ordre de 1 196 301 ha, la région enregistre un minimum de 13 965 ha dans la wilaya de Naama et un maximum de 286 779 ha dans la wilaya de Tiaret.

La tendance globale reflète une variabilité moyenne équivalente à 36% d'Est en Ouest, de l'aire d'étude. Ce chiffre est lié notamment à l'évolution des valeurs minimums et maximums qui reproduisent séparément, des courbes qui fluctuent dans le même sens.

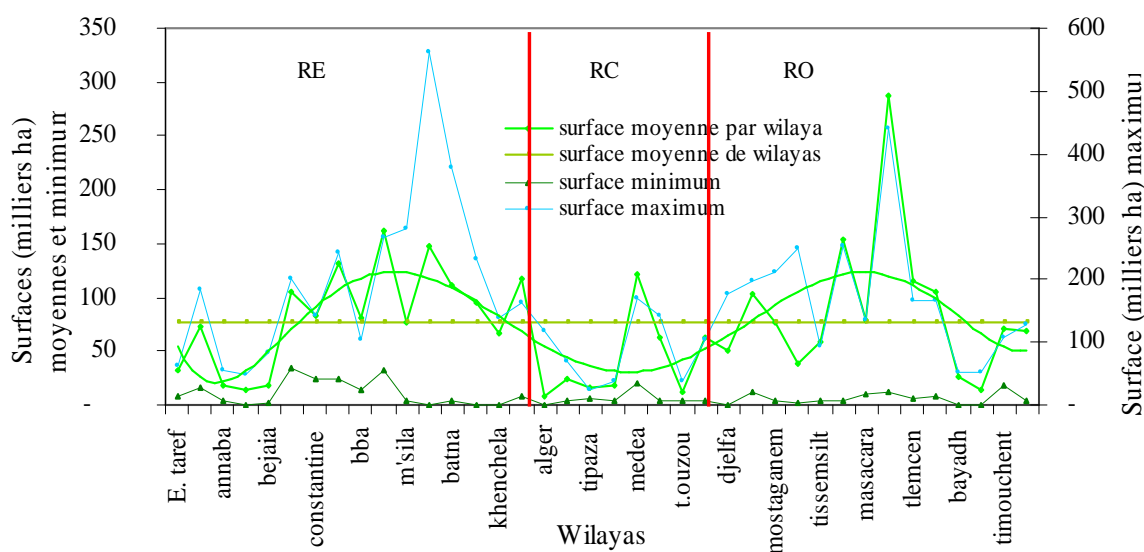


Figure 5. Superficies emblavées dans les wilayas céréalières du Nord Algérie.

1.3. Echelle spatio-temporelle

La surface emblavée par région céréalière sur les 35 dernières années, est représentée par la figure 6, qui montre trois phases relativement importantes. La première allant de (1973 à PP1987), elle se caractérise par des S_e dont les E_t dépassent les moyennes régionales de +29% (RE), +17% (RC) et +26% (RO). La deuxième comprise entre (1987-2000), enregistre en revanche des E_t négatifs qui fluctuent respectivement entre -14%, -5% et -19%. La

troisième définissant les années 2000, relève une diminution des S_e de 11% dans la RE alors qu'elle enregistre une augmentation de 4% dans la RC et de +6% dans la RO par rapport à leurs moyennes.

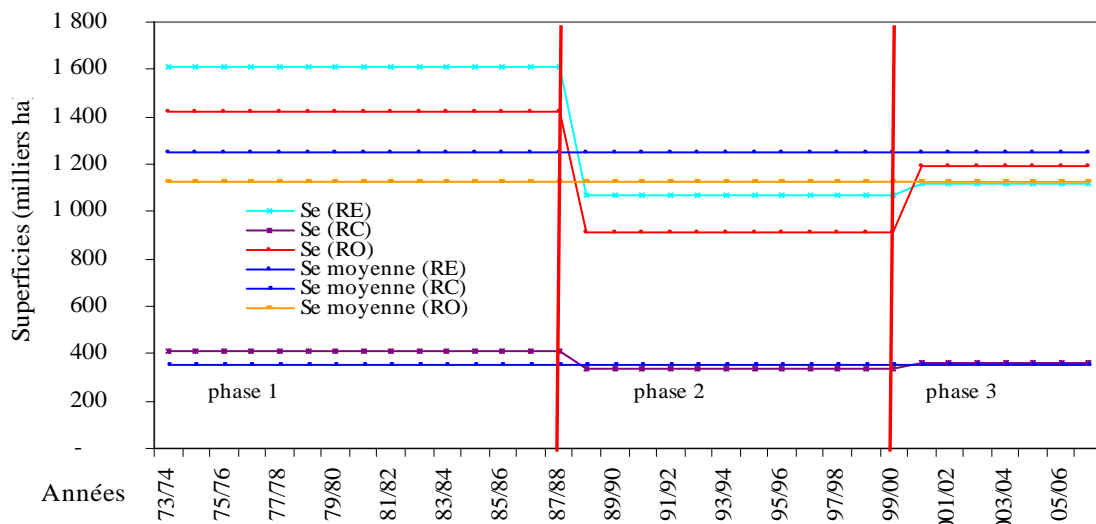


Figure 6. Evolution spatio-temporelle des superficies à l'échelle régionale.

2. Production

2.1. Echelle temporelle

La production céréalière moyenne au NA, s'établit à 20 millions de quintaux sur 71 ans (1936-2007). Elle présente quant à elle, une forte variabilité et montre un minimum très particulier, reflétant une P_r presque nulle de 12 355 q durant l'année 1942-1943. A l'opposé, un maximum de 49 millions q s'est reproduit trois fois, durant les années 1945-1946, 1995-1996 et 1996-1997, ce qui représente un écart relatif énorme. La P_r moyenne lors de chacune des phases identifiées ci-dessus, est illustrée par la figure 7.

La tendance globale montre une courbe dont l'allure suit grossièrement celle de la surface emblavée, notamment durant la première phase. La P_r au cours de la période correspondante (1930-1950), est de 13 millions q en moyenne, soit un E_t négatif de -37% est enregistré en relation avec une superficie qui diminue de -3%. Durant la deuxième phase (1950-1973), la production moyenne est encore une fois inférieure à la moyenne (19 millions q), soit un chiffre inférieur de 3% est noté en dépit d'une S_e qui augmente de +3%. Durant la troisième et la quatrième phase, la diminution (-1%) des S_e , a entraîné respectivement un accroissement des P_r de +10% à +45% par rapport à la moyenne de la série. Il semble difficile d'avancer que la production céréalière, est tributaire de la surface ensemencée en examinant les résultats

caractéristiques des différentes phases. Ils rappellent en conséquence, le poids que peuvent jouer d'autres influences, notamment climatiques et d'ordre techniques.

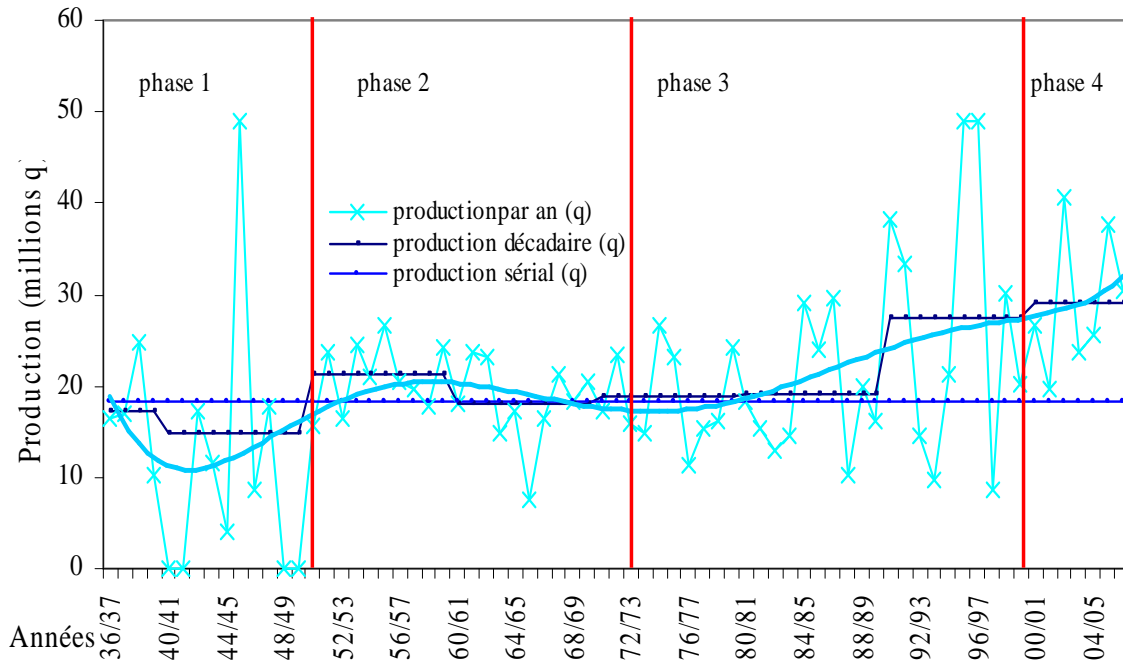


Figure 7. Production céréalière sur une série d'années (1936-2007) par rapport à la moyenne générale.

2.2. Echelle spatiale

La production céréalière par wilaya est proche de 648 289 q. Elle montre spatialement des fluctuations dont la courbe sinusoïdale suit celle des surfaces (figure 8).

La RE productive de 11 millions q, note un écart moyen de +9% par rapport à la moyenne par wilayet. La RC moins productive, 4 millions seulement, caractérise ainsi, un écart moyen qui atteint -35%. Quant à la RO relativement productive, 9 millions q définie un E_t moyen de +13%. Ces pourcentages allient ceux des S_e qui fluctuent simultanément entre +9%, -46% à +21%.

Les écarts moyens cachent des réalités de P_r qui atteignent +1 millions q, soit un accroissement de +50% par rapport à la moyenne. Ces productions sont notamment reflétées par les S_e , qui représentent dans l'ordre, le double et le triple de la surface moyenne ensemencée annuellement (76 344 ha) par wilaya. C'est le cas des wilayas de Guelma, Oum El Bouaghi, Sétif, Médéa, Tiaret et Sidi Bel Abbés. Ils cachent également, celles qui produisent moins de 50% par rapport à la moyenne, cas des wilayas littorales, sub-littorales mais montagneuses (Jijel, Bejaia, Boumerdes, Alger et Tipaza, Blida, Bouira) et dont les surfaces céréalières moyennes, sont limitées (<18 400 ha/an).

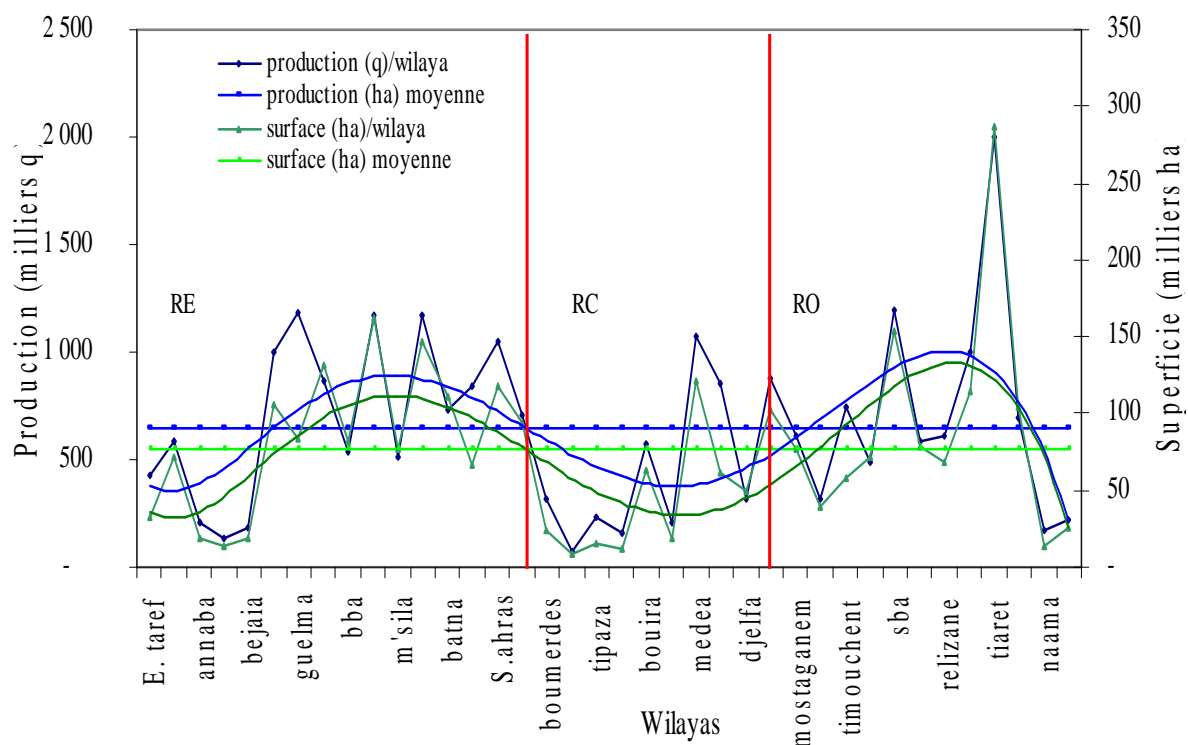


Figure 8. Productions et superficies emblavées annuellement, dans les wilayas céréalières.

2.3. Echelle spatio-temporelle

Comme les surfaces emblavées, la figure 9 illustre la tendance spatio-temporelle de la production moyenne régionale au cours de chaque phase.

La première phase caractérise des écarts productifs moyens, évalués à +6% dans la RE, à -5% dans la RC et à +7% dans la RO. Ces écarts synchronisent relativement avec ceux des S_e de la RE (+29%) et de la RO (+26%). Ils sont particulièrement liés aux wilayas des hauts plateaux. L'écart négatif de la RC est toutefois, contradictoire à l'évolution des S_e (+17%).

La deuxième phase montre quant à elle, des productions régionales qui convergent dans le sens des superficies. Les écarts négatifs les plus importants définissent cette fois, la RE (-2%) et la RO (-27%).

Enfin, la troisième phase l'écart positif est lié aux P_r en croissances de la RE, la RC à la RO. Elles notent respectivement des E_t de +9%, +21% et +31% en relation avec des S_e relativement plus faibles dans la RE (-11%), mais proches de la moyenne dans la RC et la RO, de l'aire d'étude.

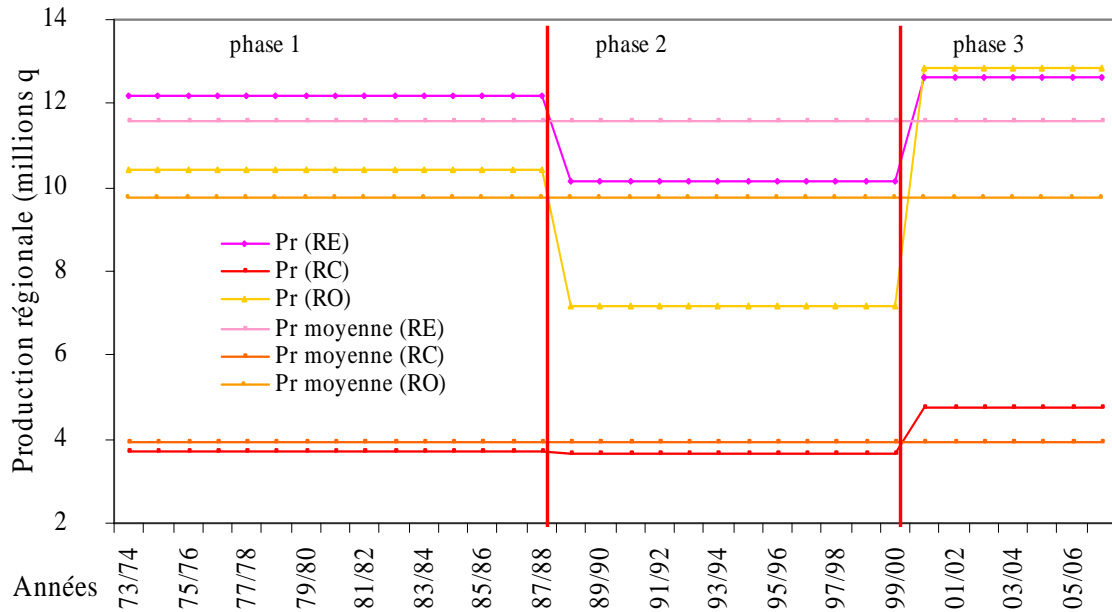


Figure 9. Production spatio-temporelle sur les 35 dernières années.

3. Rendement

3.1. Echelle temporelle

Le rendement moyen céréalier est de 7 q/ha, à l'échelle du NA. Il a connu cependant, une augmentation progressive aux cours des différentes phases de la série (1936-2007). La première et la deuxième phase, caractérisent des R_d moyens relativement inférieurs à celui de la moyenne de la série. Les écarts estimés à -22% et à -5%, évoluent dans le sens de leurs P_r . Au cours de la troisième et la quatrième phase, les R_d moyens atteignent 7 à 10 q/ha, soient des E_t de +5% à +38%. D'une année à l'autre, des E_t de récoltes, sont enregistrés en rapport avec les emblavures dispersées dans toute la région du Nord du pays (figure 10). Les variations temporelles des R_d restent faibles et aléatoires, 24%.

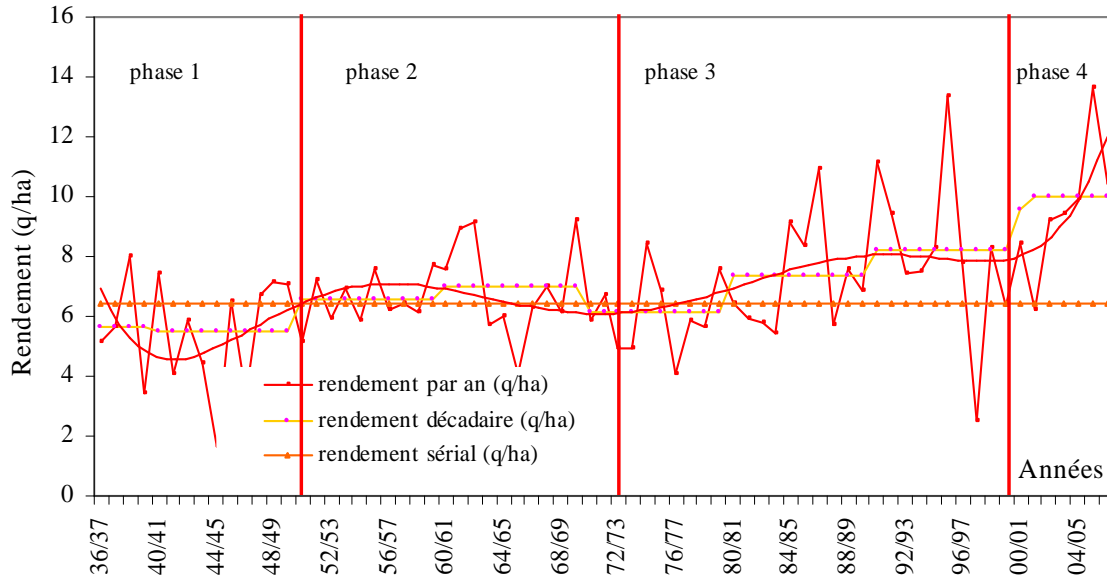


Figure 10. Rendements moyens enregistrés par phase en référence à la moyenne de la série (1936-2007).

3.2. Echelle spatiale

Le rendement moyen spatial oscille entre un minimum de 5 et 6 q/ha dans des wilayas, comme Djelfa, Bordj Bou Arreriedj, Batna et Khenchella et un maximum de 13 et 14 q/ha comme les wilayas littorales et montagneuses. Dans les wilayas réputées céréalières, les R_d ne dépassent pas 7 q/ha, cas de Sétif, Tiaret et Sidi Bel Abbés. Ces fluctuations évoluent dans le sens opposé de celles des productions (figure 11).

La RE dont la P_r spatiale est positive (+9%), enregistre une diminution de R_d de -2%. En revanche, dans la RC le R_d gagne +22% pour un abaissement de la P_r (-35%) en relation avec la faiblesse des S_e (-46%). La RO enregistre contrairement à la P_r (+13%), un écart de R_d de -19% ; alors que les S_e différencient un surplus de +21%. Ces effets expliquent davantage la prise en considération d'autres facteurs de productions tels que la pluviométrie, la température, la fertilisation, les variétés utilisées et les pratiques culturales.

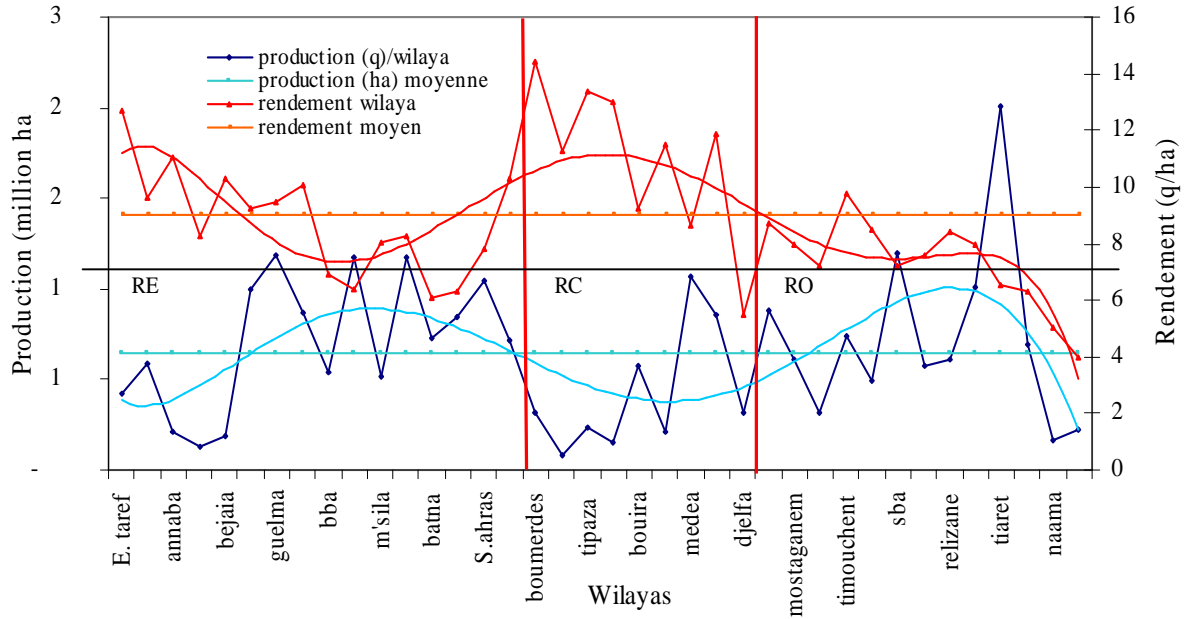


Figure 11. Rendement moyen et production moyenne dans les wilayas céréalières.

3.3. Echelle spatio-temporelle

Le rendement céréalier dans le temps et dans l'espace, montre plus précisément les écarts positifs et négatifs produits en relation avec les productions au cours des mêmes phases (figure 12).

L'écart négatif de R_d au cours de la phase 1 résulte de la RE (-9%) et de la RC (-10%). Aux cours de la phase 2 et 3, la plupart des écarts tendent à la hausse, exception faite de la RO, qui enregistre à la phase 2, un écart de -8%.

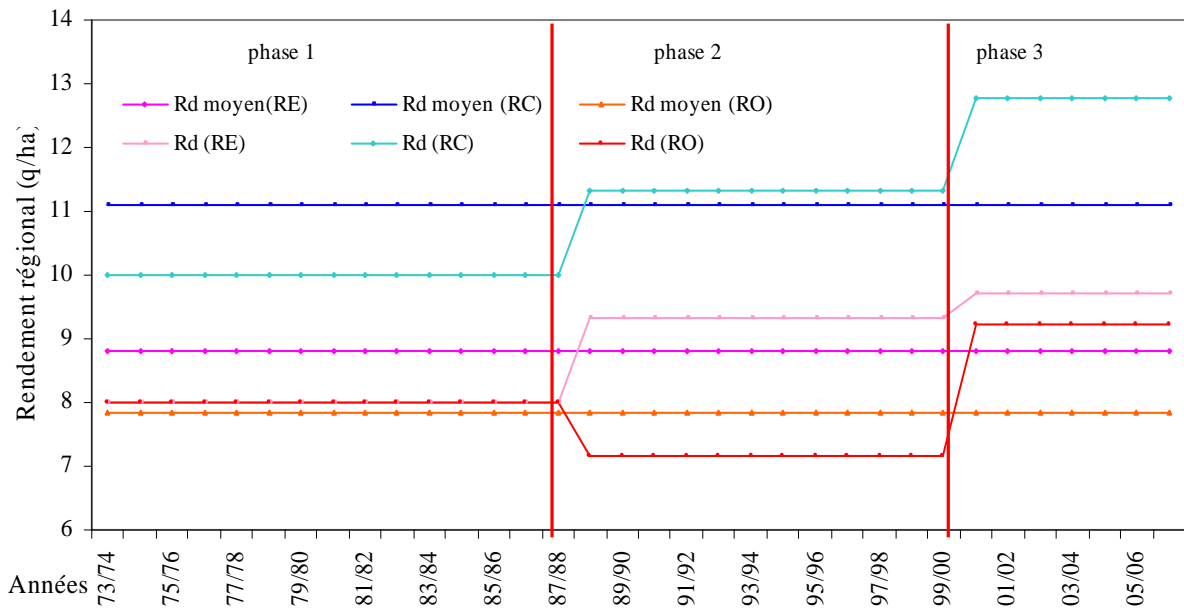


Figure 12. Evolution des rendements moyens dans le temps et dans l'espace, à l'échelle régionale.

II. Blé dur blé tendre orge et avoine

1. Superficie emblavée

1.1. Echelle temporelle

La sole céréalière algérienne de 3 millions ha, est constituée de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine. La figure 13 montre dans le détail l'évolution de chaque culture sur les 35 dernières années. Le blé dur est manifestement dominant à l'échelle du Nord du pays, avec une S_e de 1 321 420 ha, soit 43% du total céréalier. L'orge avec 973 873 ha, vient en deuxième position (31%) par rapport au blé tendre qui tend à émerger durant ce siècle. De l'ordre de 286 000 ha selon Blanc (1929), il atteint actuellement, 687 152 ha, soit 22% des S_e totales. Enfin, l'avoine occupe des S_e négligeables de 111 093 ha ou 4% du total ensemencé annuellement, en céréales.

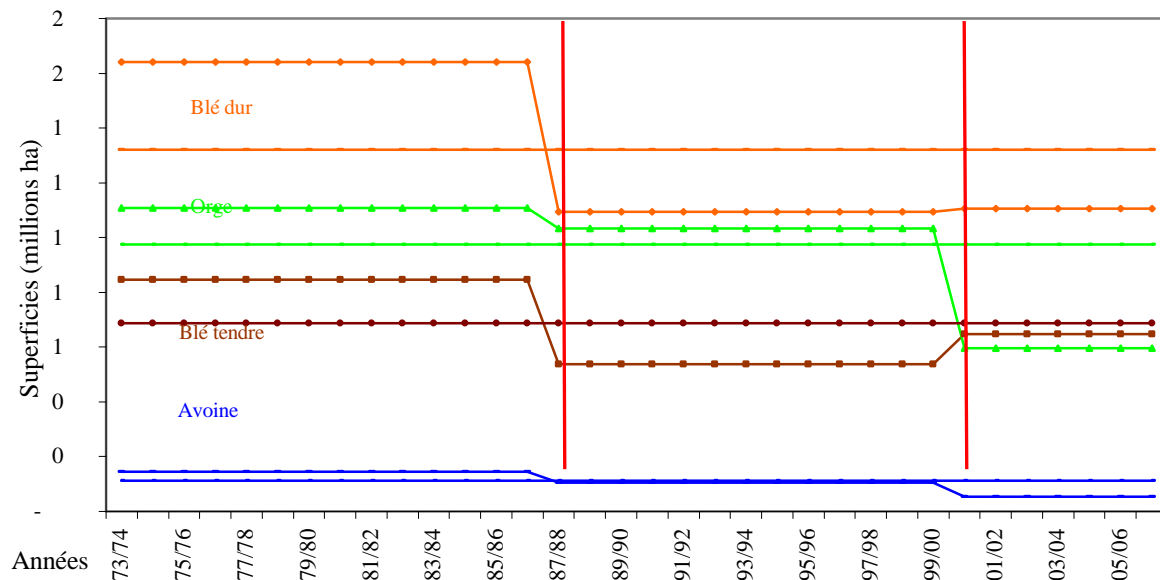


Figure 13. Superficies temporelles emblavées en blé dur, en blé tendre, en orge et en avoine sur la période (1973-2007).

Par phase, la première (1970-1987) caractérise des S_e de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine dont les E_t sont positifs par rapport à leurs moyennes.

Le blé dur enregistre un E_t de +24%, il cache cependant le minimum de 1 372 885 ha emblavé en 1986/1987 et le maximum de 1 830 770 ha, semé en 1980/1981.

L'orge caractérise un E_t qui ne dépasse pas 14% de sa moyenne, malgré le maximum de 1 872 154 ha ensemencé en 1979/1980.

Quant au blé tendre, il note des S_e relativement plus élevées, soit 23% de plus que sa moyenne générale. Enfin l'avoine, malgré que sa moyenne générale soit faible, les surfaces ensemencées annuellement, demeurent assez élevées.

A l'opposé, la deuxième et la troisième phase, représentent des S_e dont les moyennes demeurent assez faibles pour la plupart des cultures. Les écarts (E_t) négatifs qui caractérisent le blé dur (-17%) et le blé tendre (-22%) au cours de la phase 2, semblent plus importants que ceux de la dernière phase. De l'ordre de -16% et -6%, ces chiffres dénotent simultanément de l'importance des étendues de blé dur et du blé tendre au dépend de l'orge (-39%) et notamment de l'avoine (-52%) qui connaissent des régressions notables, les années 2000.

1.2. Echelle spatiale

A l'échelle spatiale, le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine se cultivent simultanément de la RE à la RO du NA, mais avec des proportions variables (figure 14).

Dans la RE, le blé dur vient en tête des cultures céréalières avec une S_e de 644 585 ha, soit la moitié (52%) du total des céréales emblavées dans cette région. Les ensemencements les plus importants sont consacrés aux wilayas de Guelma, de Sétif, et de Souk Ahras réputées céréalières. Puis à celles des wilayas de Mila, de Constantine, d'Oum El Bouaghi, de Batna et Bordj Bou Arreiedj. Les wilayas littorales occupant de faibles surfaces céréalières.

La culture de l'orge avec 477 068 ha, soit 30% du total, se répand davantage dans les hauts plateaux de M'sila, de Constantine, Guelma, Khenchella, Bordj Bou Arreiedj, Sétif, Souk Ahras et Oum El Bouaghi. Quant aux champs de blé tendre avec une étendue qui ne dépasse pas le 1/5 (16%) du total céréalière, se retrouve essentiellement à Sétif, Guelma, Batna et même M'sila et Tébessa. Il reste assez faible dans les autres wilayas.

Dans la RC, les couvertures occupées par ces cultures, sont relativement plus faibles que celles de la RE en dépit des pourcentages aussi, élevés (blé dur : 56%, blé tendre : 13%, orge : 28% et avoine : 3%). Les pourcentages du blé dur et de l'orge sont dus essentiellement aux S_e assez importantes des wilayas de Médéa et de Bouira.

Dans la RO, bien que les agriculteurs s'intéressent davantage à l'ensemencement du blé tendre (361 288 ha, soit 31%), le blé dur (410 599 ha) et l'orge (332 526 ha) n'ont pas, moins cultivées. Toutefois, certains chiffres montrent que la surface consacrée au blé dur, tend à diminuer au profit du blé tendre dans les wilayas comme Oran, Sidi bel Abbés, Mascara et Tiaret. Elle tend à faiblir au profit de l'orge dans les wilayas comme Mostaganem, Ain Timouchent, Tissemsilt.

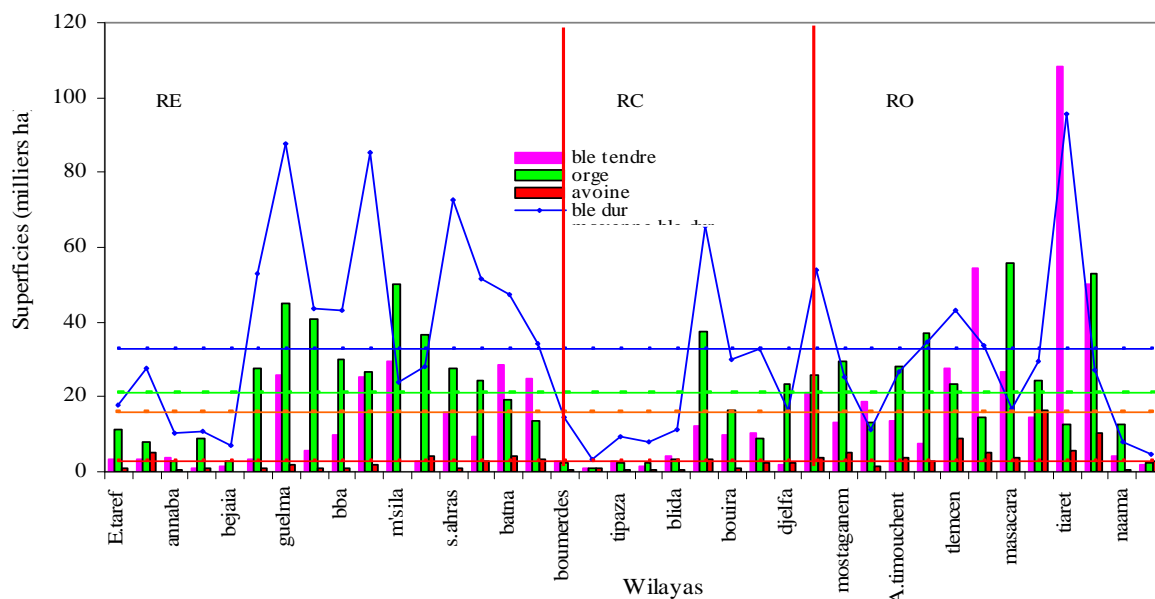


Figure 14. Superficies emblavées en blé dur, en blé tendre, en orge et en avoine à l'échelle spatiale.

1.3. Echelle spatio-temporelle

Les surfaces de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine, considérées dans l'espace et dans le temps en référence au total NA, évoluent comme suit selon la figure 15.

Dans la RE, le blé dur reste la culture la plus dominante. La moyenne de 644 585 ha, fluctue entre un minimum de 245 455 ha, ensemencé en 1991/1992 et un maximum de 990 439 ha, ensemencé en 1979/1980. L'orge qui tend à le concurrencer, occupe une S_e moyenne de 477 068 ha, soit un minimum de 97 355 ha est observé, en 1993/1994 et un maximum de 1 268 896 ha, est consigné en 1979/1980. Le blé tendre et l'avoine dont les S_e ne dépassent pas dans l'ordre 200 814 ha et 30 510 ha, enregistrent des chiffres maximums de 322 818 ha et de 164 446 ha durant la même année (1979/1980).

Dans la RC, le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine suivent la même évolution que dans la RE. Cependant leurs S_e marquent annuellement, des régressions notables par rapport à celles de la RE. Elles ne dépassent pas dans l'ordre 18%, 16%, 13% et 10% des totaux de chaque culture emblavée, à l'échelle du nord du territoire. Les maximums d'emblavures caractérisent les années 1976/1977 (blé dur, 376 123 ha), 1978/1979 (blé tendre, 149 956 ha) et 1979/1980 (orge, 316 710 ha).

Dans la RO, le blé dur s'étend également, sur les plus grandes surfaces avec une moyenne de 410 599 ha. Quant, au blé tendre et à l'orge, ils occupent des S_e relativement équivalentes à 361 288 ha et à 332 526 ha.

A cette échelle de temps et d'espace, les S_e de blé tendre apparaissent clairement, plus importantes que celles de la RE, suivie par celles de la RC. A l'opposé, l'orge est plus dominant dans la RE, suivie de la RO et de la RC. Les maximums d'emblavures caractérisent les années 1982/1983 (blé dur : 587 054 ha), 2001/2002 (blé tendre : 533 437 ha), 1995/1996 (orge : 568 550 ha).

L'avoine avec des S_e qui évoluent entre 30 510 ha (RE), 11 523 ha (RC) et 69 060 ha (RO), est relégué à la quatrième position dans l'ensemble des régions du territoire.

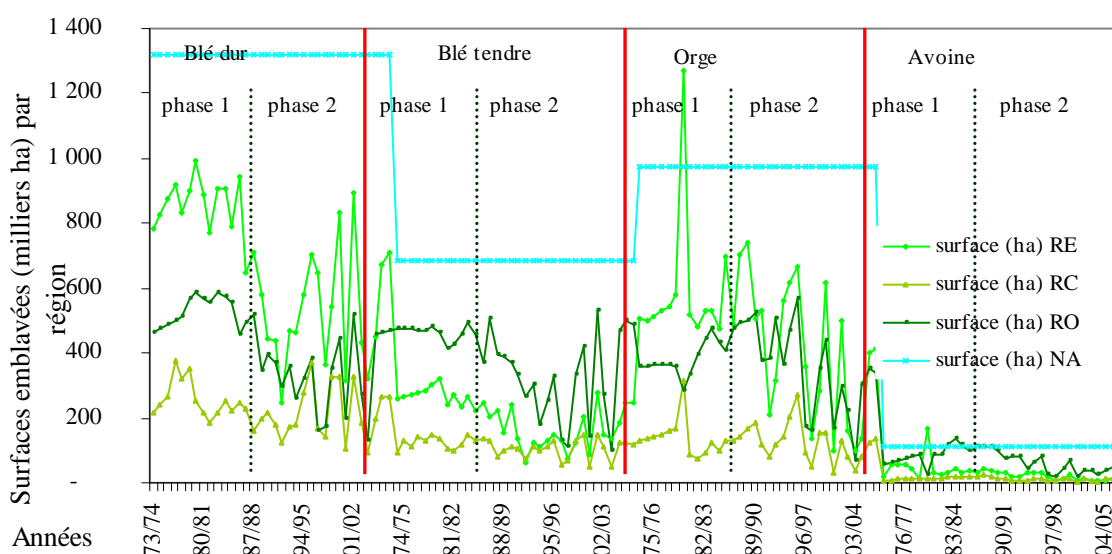


Figure 15. Superficies emblavées dans le temps et dans l'espace par culture (BD, BT, OR, AV) et par région par rapport aux emblavures totales.

2. Production

2.1. Production temporelle

La moyenne des 34 dernières années (25 millions q) par espèce et par région, évolue comme indiquée dans la figure 16. Ainsi, le blé dur caractérise la P_r la plus élevée, 10 693 043 q, soit 42% du total suivi de celle de l'orge qui atteint 7 690 316 q ou 31% du total produit au Nord du pays. La production du blé tendre vient ainsi, en troisième position avec 5 977 768 q, soit 24% seulement de la P_r céréalière. L'avoine reste enfin le moins productif, 732 317 q ou 3% en relation avec la faiblesse des surfaces ensemencées.

Par phase, une irrégularité des productions moyennes est observée en relation avec les surfaces ensemencées. Au cours de la phase 1, le blé dur relève une P_r équivalente à la moyenne. Il semble que la P_r total céréalière au cours de cette épisode, est due principalement

à celles du blé tendre (42%), de l'orge (42%) et même de l'avoine qui contribue à 17% en relation avec des surfaces relativement importantes.

Quant à la phase 2, les P_r des cultures en deçà des moyennes (blé dur, -36% ; blé tendre, -27% ; orge, -30% et avoine, -24%) semblent évoluer dans le sens des S_e en diminution.

Au cours de la phase 3, les surfaces qui continuent à diminuer (entre -16%, -52%, -6% et -39%), ne semblent pas influencer particulièrement le blé dur (+67%) et l'avoine (+11%) qui marquent des P_r en croissances.

Ces résultats confirment les constatations précédentes en rappelant dans le détail, le poids que jouent d'autres facteurs, naturels et humains (climatiques, techniques, variétales).

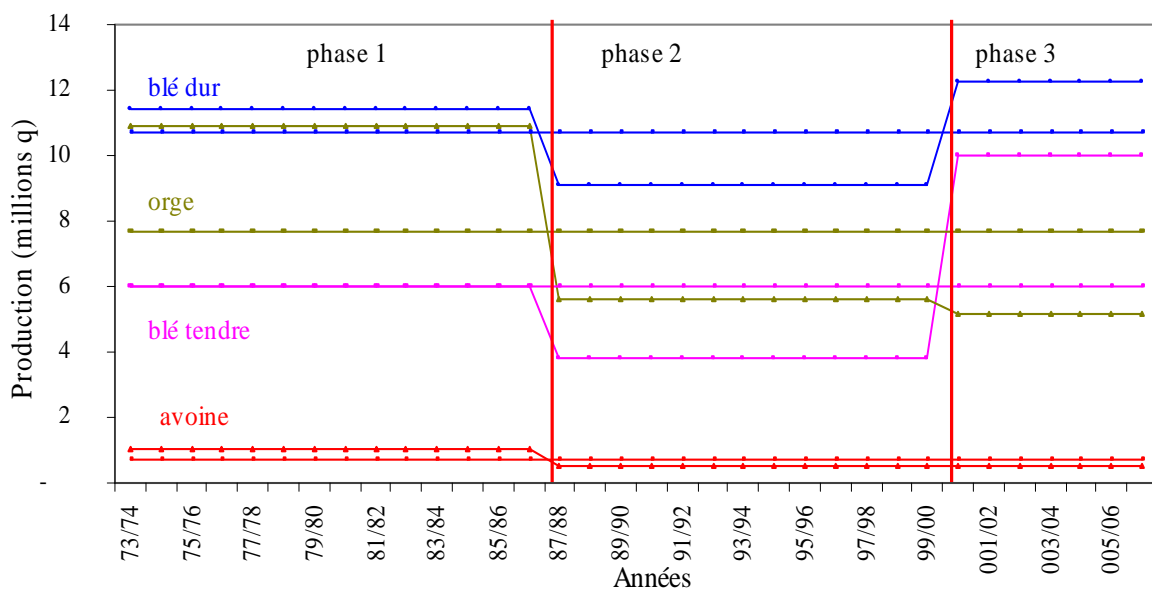


Figure 16. Production céréalière par spéculation (BD, BT, OR, AV) et par phase, (1973-2007).

2.2. Echelle spatiale

A l'échelle spatiale, la production moyenne des différentes cultures, est perçue à travers la figure 17.

La RE produit par wilaya une moyenne de 710 518 q, soit 38% du total productif du NA. La plus grande production est octroyée au blé dur, 48%. Elle est reflétée essentiellement par les wilayas de Guelma, de Sétif et de Souk Ahras, suivi de celles de Mila, de Constantine, d'Oum El Bouaghi, de Bordj Bou Arreriedj et de Khenchella. L'orge, moins productif, atteint 33% de la P_r totale ; alors que le blé tendre ne dépasse pas une P_r de 17%. Ces chiffres notent des P_r

relativement importantes dans les wilayas de Khenchella, Oum El Bouaghi, Batna, Tébessa, Sétif et M'Sila en relation avec les S_e . Celle de l'avoine est relativement négligeable (2%).

La RC moins productive (moyenne de wilaya, 422 754 q ou 23%), indique cependant des P_r qui évoluent dans le même sens que celles de la RE. La P_r du blé dur atteint 51%, celle du blé tendre, 31% et enfin celles de l'orge et de l'avoine 15% et 3%.

La RO montre une P_r moyenne par wilaya (733 058 q) aussi, importante que celle de la RE. Le pourcentage productif équivalent à +39% renvoie à des productions de blé dur (34%), de blé tendre (31%), d'orge (28%) et d'avoine (6%), qui évoluent proportionnellement à celui des S_e . Ces pourcentages sont liés notamment, aux wilayas de Tiaret, de Sidi Bel Abbés, de Ain Timouchent, de Tlemcen, de Mostaganem et de Chellif.

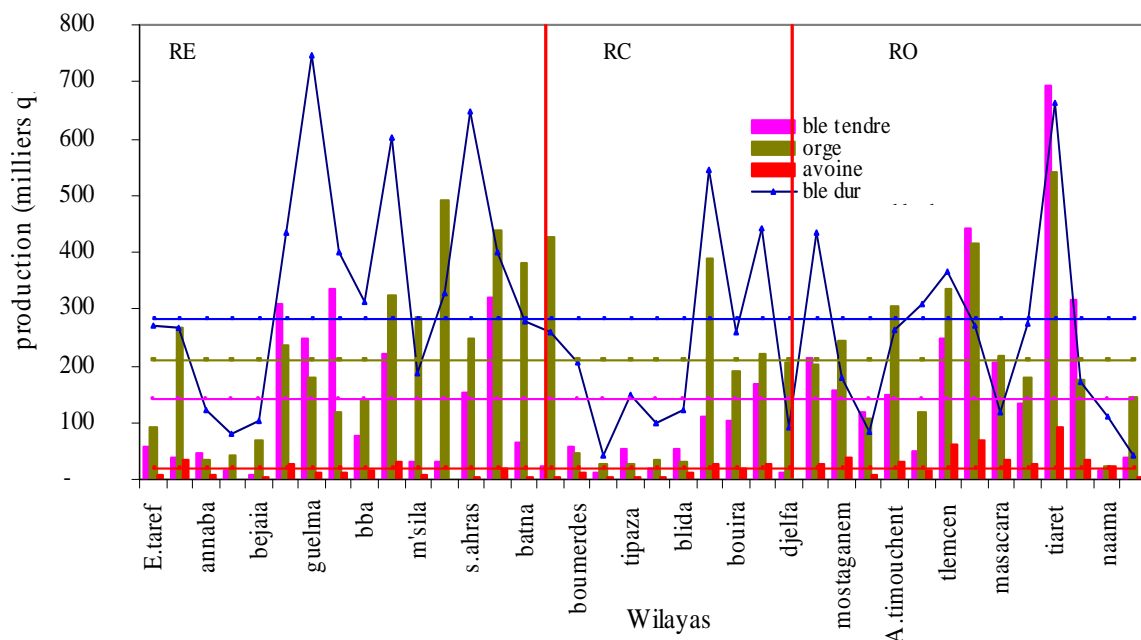


Figure 17. Production spatiale par culture (BD, BT, OR, AV) à l'échelle régionale.

2.3. Echelle spatio-temporelle

Le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine considérés dans le temps et dans l'espace (figure 18), montrent une fois de plus des productions variables d'une région à une autre et d'une culture à l'autre en liaison avec leurs S_e . Cette variabilité expriment particulièrement, les cultures qui contribuent à améliorer la P_r du NA, durant ces 35 dernières années.

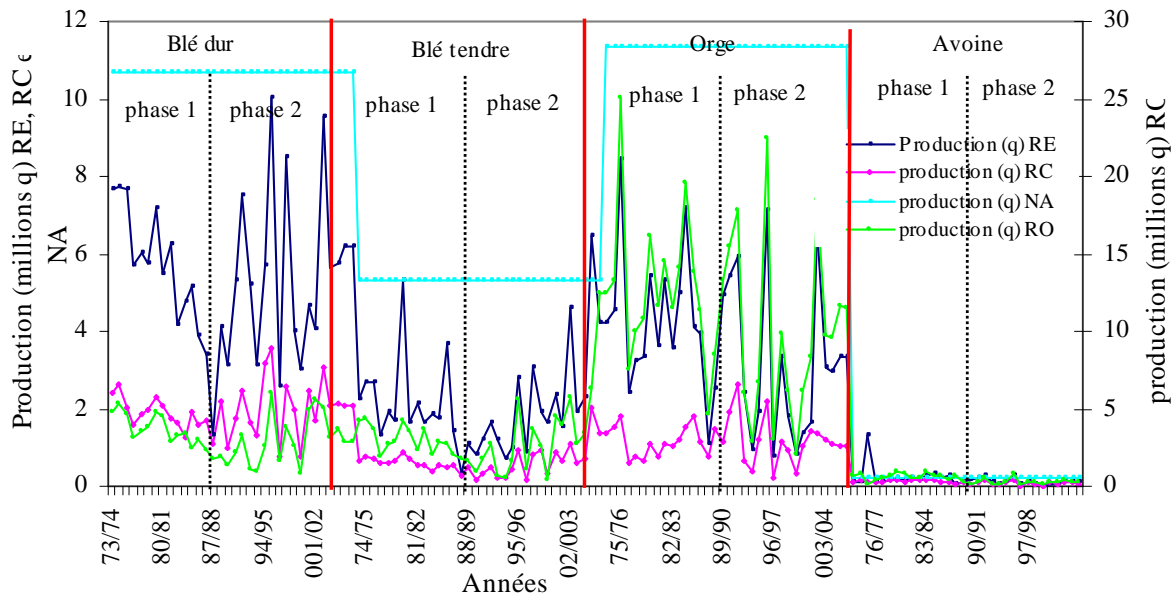


Figure 18. Production céréalière dans le temps et dans l'espace par spéculation (BD, BT, OR, AV).

Dans la RE, le blé dur est le plus productif. La moyenne de 5 482 549 q masque le minimum produit, 1,3 millions q en 1987/1988 et le maximum, 10 millions q en 1995/1996. Les écarts relatifs caractérisent des superficies du même ordre, 710 161 ha et 702 120 ha. Quant à l'orge, il est relativement moins productif (3 698 746 q) marquant cependant, des pics à plusieurs reprises. Un taux de 8 423 359 q est enregistré en 1975/1976, 7 183 959 q en 1984/1985 et 6 635 290 q en 2002/2003. Ces pics sont en relation avec les S_e assez importantes.

Le blé tendre dont la P_r plus faible (2 170 041 q) concorde avec les S_e , enregistre un maximum qui ne dépasse pas 5 millions q en 1979/1980. Il est souligné que les productions durant les années (1973-1987), sont moins importantes que celles des années (1987-2007), représentées par des surfaces plus faibles.

Dans la RC, les P_r de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine évoluent dans le sens des S_e . Des pics de 5 à 6 millions q sont observés en 1995/1996 et 1991/1992 caractérisant respectivement le blé tendre et l'orge.

Dans la RO, le blé dur dont la production (3 252 936 q) avoisine celle du blé tendre (3 163 035 q), reste moins productif que l'orge qui vient en tête de production (7 593 166 q). Pourtant, les surfaces qui leurs sont consacrées annuellement, sont corrélativement proches les une des autres. Les productions maximums caractérisent ainsi l'orge, à des taux compris entre 9 (1984/1985) et 15 millions q (1990/1991).

A cette échelle de temps et d'espace, les productions de l'avoine paraissent très négligeables durant la période d'étude.

L'analyse fait remarquer que sur les mêmes surfaces, les productions peuvent d'un an à l'autre, varier du simple au double ou même au triple. Les travaux de Beaumont (1949) sur le même territoire, soulignent qu'avec des travaux du même ordre, avec le même effort de cultivateurs, c'est « la pluviométrie et non la terre » qui produise le blé.

3. Rendement

3.1. Echelle temporelle

Le rendement moyen céréalier qui a atteint 9 q/ha au NA, sur les 35 dernières années (1973-2007) caractérise toute fois, un blé dur dont le rendement atteint 11 q/ha, soit 30% du R_d total. Ceux du blé tendre et de l'avoine atteignent 10 q/ha ou 26% du total, en relation avec des P_r plus faibles, alors que celui de l'orge, ne dépasse pas 7 q/ha, en dépit d'une meilleure P_r (figure 19).

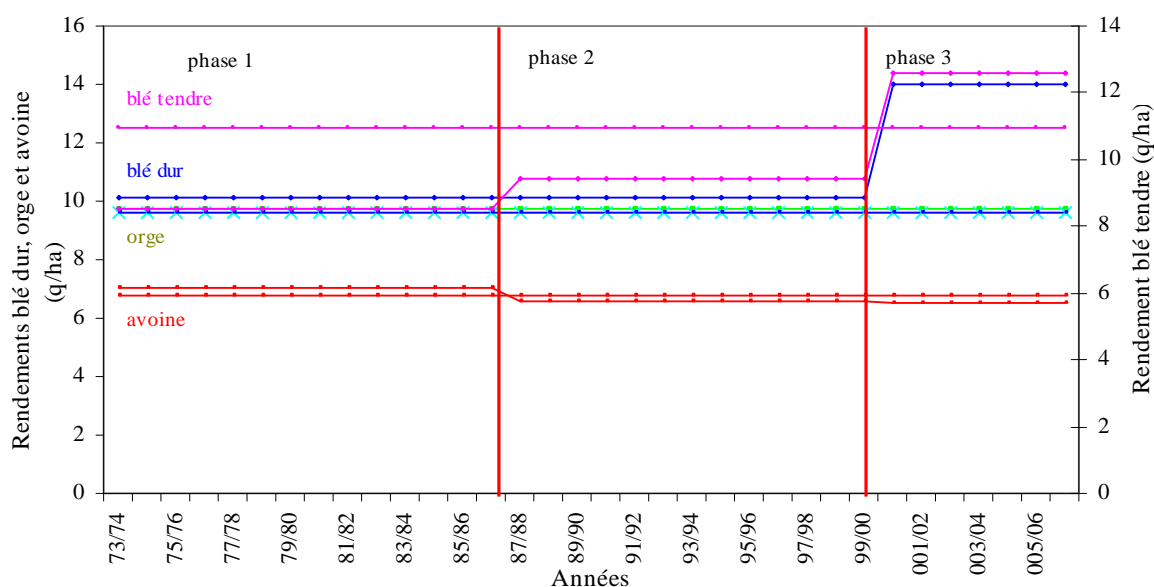


Figure 19. Rendements céréalier par culture (BD, BT, OR, AV) et par phase, période (1973-2007).

Par phase, au cours de l'épisode 1, le blé dur et le blé tendre enregistrent des écarts de R_d de l'ordre de -7% et -12% en dépit des P_r égales ou supérieures aux moyennes. Quant au R_d de l'orge, il note un E_t de +4% seulement, pour une P_r qui s'améliore.

La phase 2 indique un blé dur dont le R_d s'écarte de la moyenne de +4% en relation avec une P_r qui faiblie (-36%). Le blé tendre et l'orge avec des écarts de R_d de -3% et -2%, évoluent dans le sens de leurs P_r .

Enfin, durant la phase 3, les R_d de blé durs (+44%) et de blés tendres (+30%) évoluent dans le sens positif de leurs P_r .

En outre, le R_d de l'avoine reste stationnaire et proche de sa moyenne durant les trois phases d'étude. Les écarts de récoltes obtenus, caractérisent des productions aléatoires en combinaison avec des superficies relativement stables dans le temps.

3.2. Echelle spatiale

Le rendement moyen céréalier de 9 q/ha oscille par spéculation, entre des valeurs moyennes de 7 et 11 q/ha (figure 20). La valeur la plus faible caractérise l'avoine et la plus élevée, définit le blé dur, à l'échelle du NA.

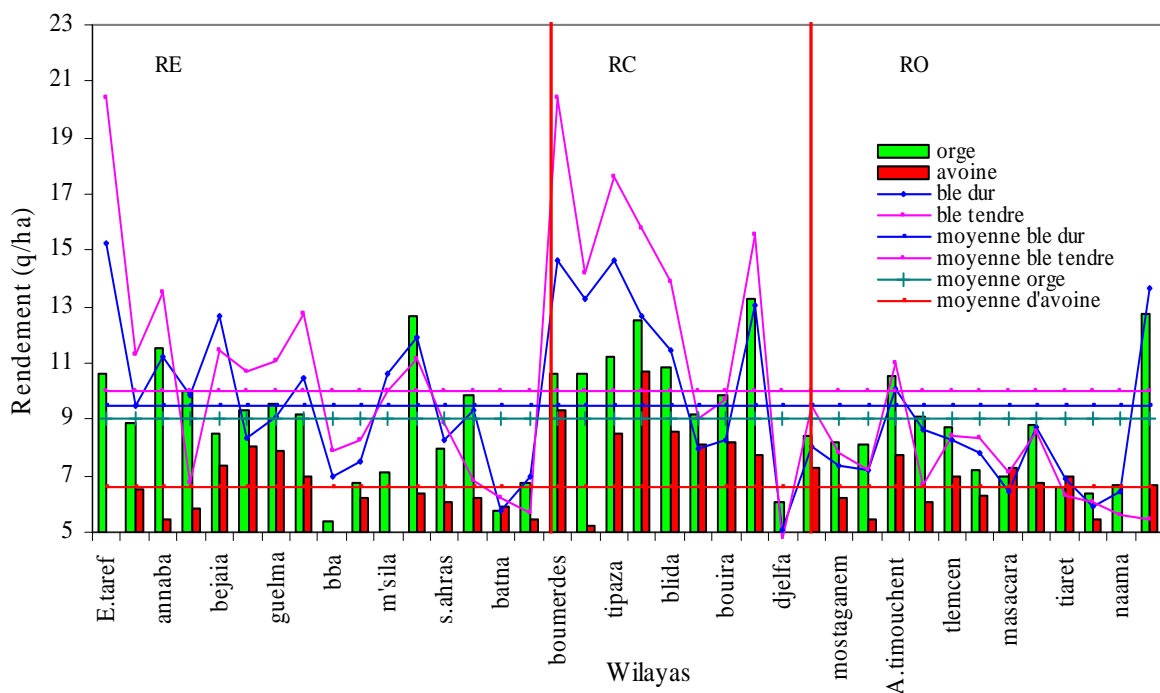


Figure 20. Rendement spatial par culture (BD, BT, OR, AV) et par région (RE, RC, RO).

Dans la RE et la RC, les rendements moyens des blés durs (10 et 11 q/ha) et tendres (10 et 13 q/ha) sont liés principalement à ceux des wilayas littorales et montagneuses. En effet, les écarts de R_d du blé dur peuvent atteindre +66%, c'est le cas dans les wilayas de Skikda et de

Boumerdes ; ces écarts atteignent +122% concernant le blé tendre (wilayas d'El Taref et Alger). Quant à l'orge, les R_d moyens de 9 (RE) et de 10 q/ha (RC) enregistrent des maximums de 12 (Annaba) et de 13 q/ha (Khenchella, Tizi Ouzou, Ain Defla).

Contrairement à ces deux régions, la RO note des rendements en dessous de la moyenne générale pour l'ensemble des cultures, 8 q/ha en dépit des productions relativement notables.

3.3. Echelle spatio-temporelle

Les moyennes de rendements de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine dans le temps et dans l'espace, montrent davantage la variabilité des récoltes d'une région à l'autre et d'une culture à l'autre en référence aux moyennes, du Nord du Pays (figure 21).

Dans la RE, comme dans la RC et la RO les fluctuations de R_d des cultures au cours des phases 1 (1973-1987), restent inférieurs aux moyennes, qui évoluent dans le sens des productions.

Les phases 2 plus productives, enregistrent en conséquence des R_d moyens positifs reflétant principalement les R_d importants du blé tendre suivi par ceux du blé dur et de l'orge dans la RC, puis dans la RE et enfin dans la RO du pays. Le R_d du blé tendre atteint 19,5 q/ha en 1989/1990 et celui du blé dur atteint 16,4 q/ha en 1994/1995.

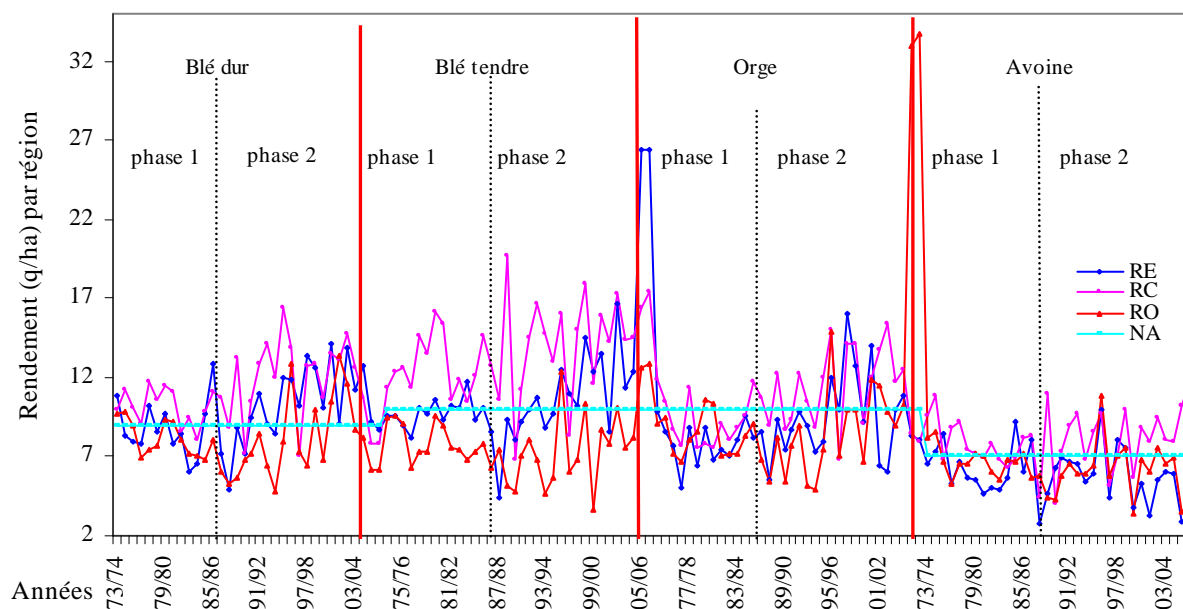


Figure 21. Rendement céréalier dans le temps et dans l'espace par culture (BD, BT, OR, AV) et par région (RE, RC, RO) par rapport aux totaux de rendements du NA.

III. Production consommation et importation

La tendance de la production céréalière, ces dernières années, révèle un écart important avec les besoins de consommations (figure 22). L'écart a commencé à se creuser vers 1970 pour atteindre aujourd'hui, 60 millions de quintaux, ce qui traduit un déficit de P_r de 75%, soit 3,86 km^3 d'eau virtuelle.

La consommation individuelle est en moyenne de 2,5 q/an. Si, selon la FAO (2004), elle dépasse légèrement celle du Maroc (2,4 q/an) et celle de la Tunisie (2 q/an), elle n'en reste pas moins inférieure à la moyenne mondiale (3,2 q/an). Pour satisfaire les besoins d'une population qui croît à un rythme annuel de 500 000 habitants et dont les céréales constituent un aliment de base incontournable, la production devrait donc quadrupler en 2007 et s'améliorer de 1,25 million de quintaux chaque année. Ceci n'est possible que si le rendement s'élève à 27,5 q/ha ou si la surface plantée en céréales atteint 11,5 millions d'ha. A défaut, les importations vont croître annuellement de 36,5 millions de dollars (US) supplémentaires, ce qui correspond à la vente de 405 515 barils de pétrole à raison de 90 dollars américains l'unité. Or, il est difficile d'augmenter les S_e céréalières dans cette conjoncture caractérisée par les changements climatiques, accompagnés de déficits hydriques et d'accroissements des températures. Cette situation est par ailleurs, accentuée par un manque de technicités.

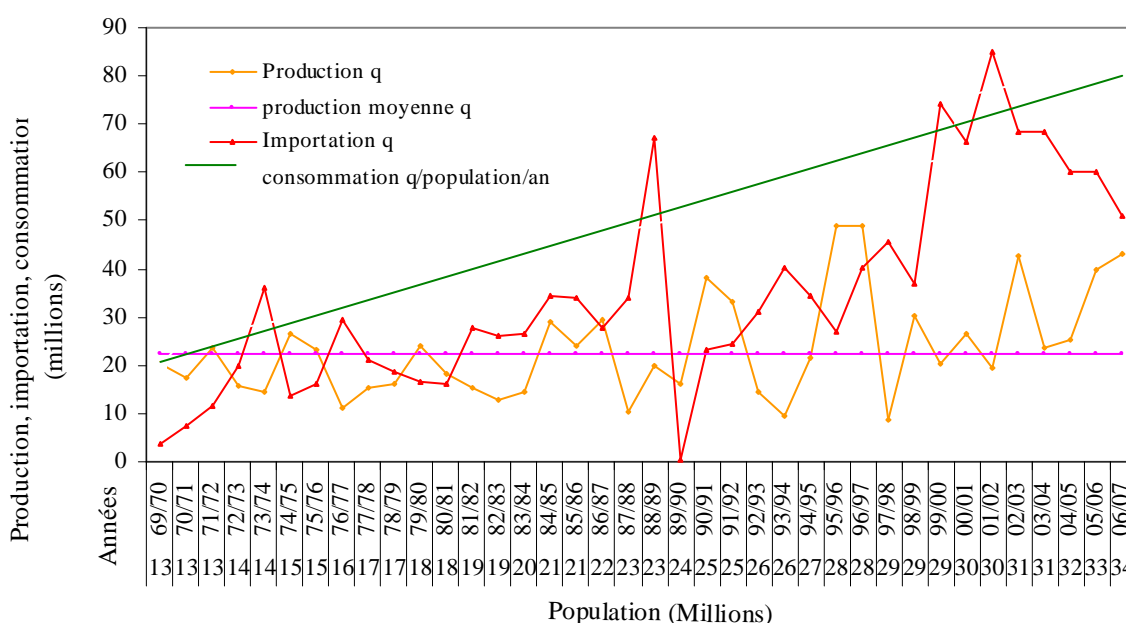


Figure 22. Evolution de la consommation en rapport avec l'effectif de la population et la production céréalière, période (1969-2007).

A noter que cette année (2009-2010), et pour la première fois depuis 1967 selon l'agence presse service, l'Algérie renoue avec l'exportation des céréales en mettant à la disposition 10 000 tonnes d'orge.

Conclusion

La céréaliculture pluviale (blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine) étalée annuellement sur 3 millions ha, produit en moyenne 20 millions q. Ce chiffre masque la production qui a atteint son maximum durant les trois dernières décennies. De l'ordre de 25 millions q, soit un accroissement de +45%, elle caractérise un rendement qui ne dépasse pas 10 q/ha, à l'échelle du NA. La production globale dominée par le blé dur (42%) suivie par celles de l'orge (31%), du blé tendre (24%) et de l'avoine (3%), reflète un potentiel agricole sous exploité (94% de jachère). En effet, les surfaces céréalières dépendantes à la fois, des caractéristiques géographique, géomorphologique, pédologique, mais également des variétés utilisées, sont constamment confrontées aux aléas du climat qui constitue un obstacle important. La céréaliculture pluviale dans la RE, la RC et la RO localisées dans les étages bioclimatiques : le subhumide (SH), l'humide (H), le semi-aride (SA) et l'aride (A), appelle la question suivante. Dans quelle mesure les facteurs du climat et les aléas climatiques, affectent-ils la production et la productivité céréalière dans le temps et dans l'espace ? Des éléments de réponses pourraient être obtenus en analysant dans un premier temps, la pluviométrie et dans un deuxième temps, la température. Ces facteurs primordiaux contribueraient à évaluer les risques liés à la variabilité climatique ainsi, que l'impact sur l'évolution de la céréaliculture pour une productivité acceptable.

Partie II : climat

I. Pluviométrie

II. Température

I. Pluviométrie

1. Annuelle

2. Mensuelle

3. Décadaire

I. Pluviométrie

Les données pluviométriques du NA reconstituées selon les méthodes énumérées dans le chapitre 2, ont permis de sélectionner la période (1936-2007). La sélection tient compte des liaisons existantes entre les séries pluviométriques. Les résultats récapitulés à l'échelle annuelle, montrent des liaisons comprises entre $75\% < R^2 < 89\%$, cependant, elles restent assez faibles entre les variables pluviométriques consécutives, séparées par l'unité de temps (Déc) (figure 23). Les faiblesses sont signalées par les valeurs de corrélations (corr) qui évoluent entre des chiffres positifs et négatifs au seuil de 5% et par celles de l'erreur type (ErrT) qui dévoilent une décroissance significative. Ces répartitions expliquent l'effet aléatoire des variables pluviométriques. Cependant, la tendance linéaire testée par la statistique des paramètres Q et p, montre une stationnarité des séries nouvellement obtenues. La figure 23 reflète à titre d'exemple, la répartition des paramètres statistiques d'une série pluviométrique annuelle, cas de la station de Batna.

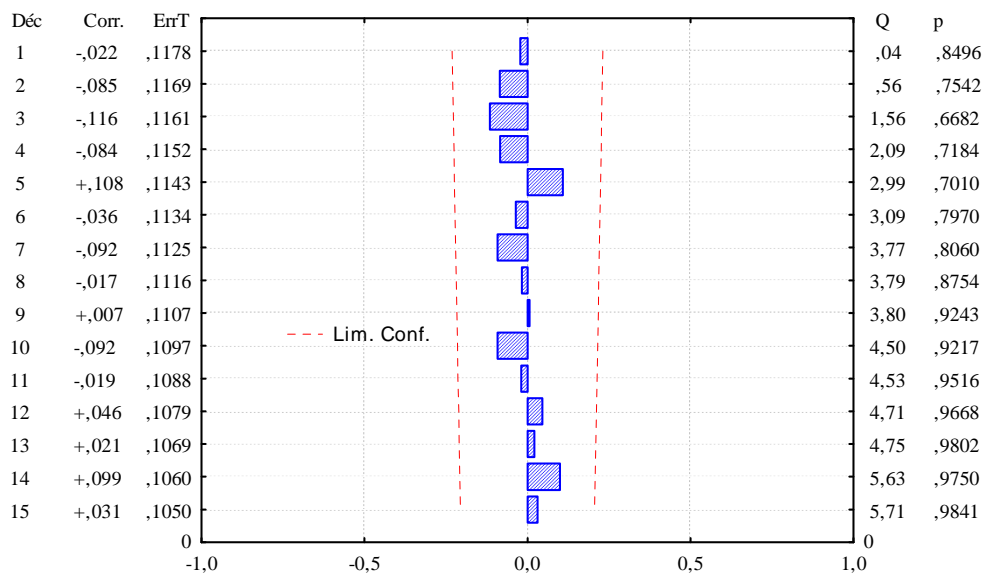


Figure 23. Fluctuation des coefficients de corrélations en fonction de l'unité de temps, cas de la série de la station de Batna

1. Pluviométrie annuelle

L'évolution de la pluviométrie annuelle est interprétée statistiquement et cartographique-ment par la répartition des quantités de pluies reçues et le nombre de jours pluvieux et secs, dans l'année.

1.1. Quantité pluviométrique

Les quantités pluviométriques à l'échelle temporelle, spatiale et spatio-temporelle sont estimées en référence aux seuils pluviométriques supérieurs à 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm.

1.1.1. Description statistique

1.1.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

- Echelle temporelle

La pluie annuelle moyenne de l'aire d'étude est estimée sur 71 ans à 470 mm. Elle varie dans le temps, entre des moyennes de 300 et 650 mm/an. L'évolution de ces lames d'eaux, lissée par une courbe de tendance, montre une variabilité de 34%. Ce chiffre qui différencie quatre phases par rapport à la moyenne générale (figure 24), avoisine celui des régions isoclimatiques méditerranéenne, estimé à 30% (Hoff et Rambal, 2007).

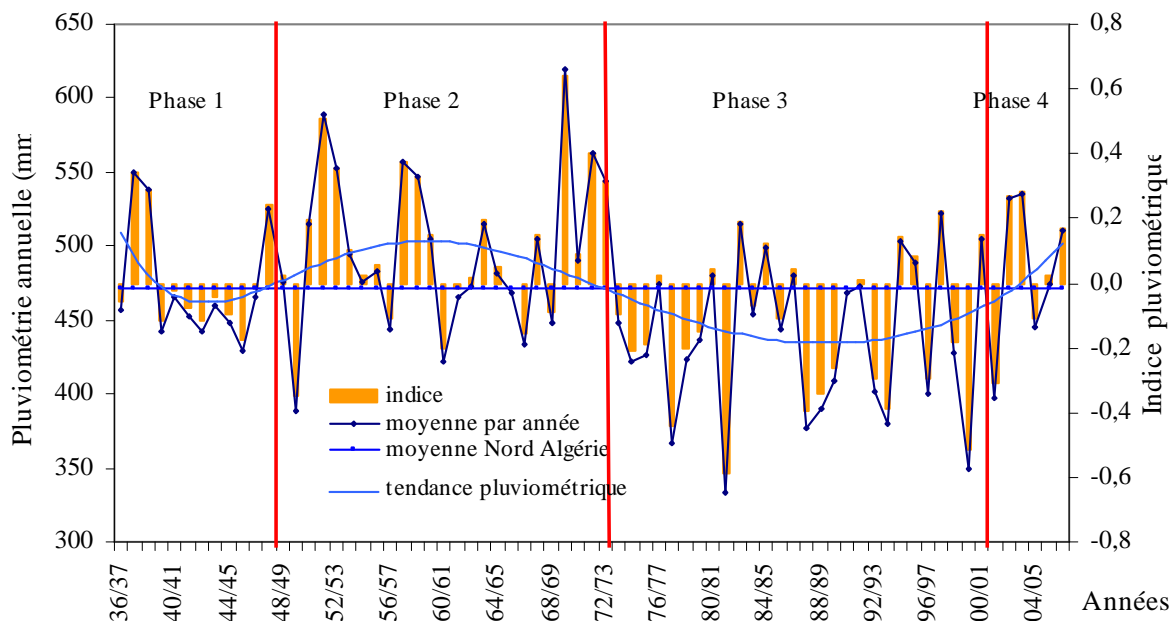


Figure 24. Tendence évolutive de la pluviométrie annuelle du NA, période (1936-2007).

La première phase correspond aux années 1930 et 1940, la deuxième s'étend entre 1951 et 1973, la troisième va de 1974 à 2001, tandis qu'une quatrième phase semble débuter en 2001. Les trois premières phases couvrent respectivement des périodes de 11, 26 et 28 ans ; la dernière en cours, en est à sa sixième année.

La deuxième et la troisième phase coïncident avec les normes climatologiques qui permettent une caractérisation du climat dans les régions méditerranéennes. Avec des lames d'eau

moyennes de 451, 497 et 443 mm, les trois premières phases s'écartent respectivement de la moyenne générale de la série de -4%, +6% et -6%. Ces valeurs traduisent successivement des épisodes : sec, puis humide et enfin sec, avec amorce de l'installation d'une nouvelle phase humide à partir de l'année 2000.

- Echelle spatiale

L'organisation des wilayas selon un gradient Est-Ouest, relève une évolution pluviométrique dont les liaisons statistiques, montrent une diminution des pluies de la RE à la RC vers la RO (figure 25).

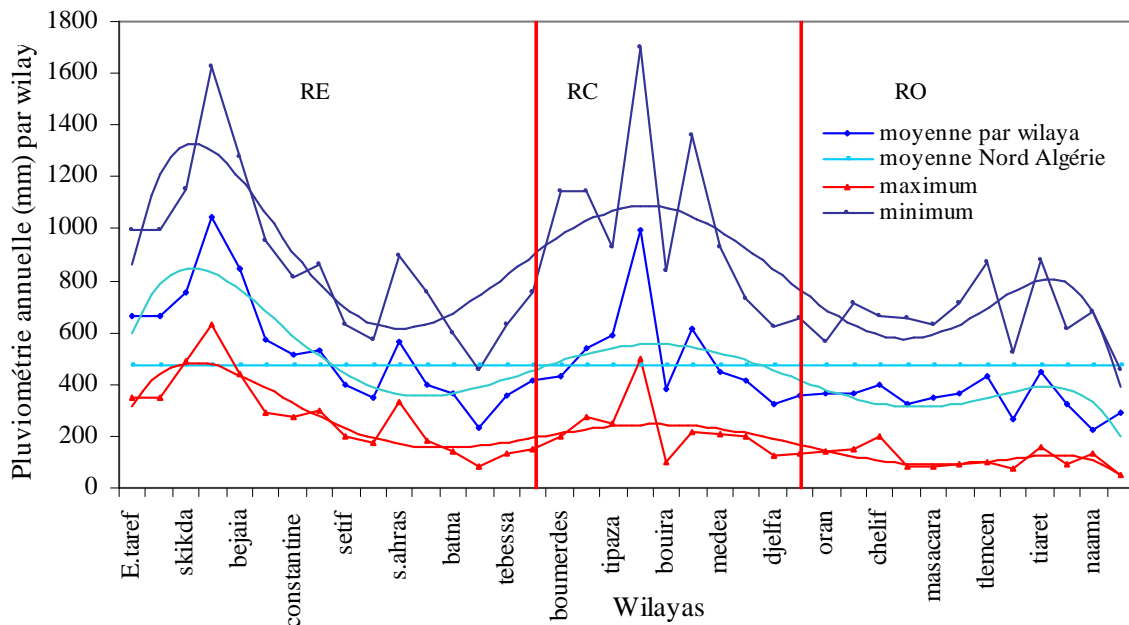


Figure 25. Pluviométrie moyenne, maximum et minimum des wilayas céréalières.

La RE enregistre la moyenne la plus élevée (540 mm), elle fluctue entre un minimum de 255 mm à M'sila, wilaya continentale et un maximum de 1 021 mm à Jijel, wilaya littorale et à caractère montagneux.

La RC aussi arrosée, reçoit une moyenne de 526 mm. Le minimum est de 300 mm à Djelfa et le maximum est de 955 mm à Tizi ouzou.

La RO la moins arrosée, recueille une moyenne qui ne dépasse pas 347 mm. Le minimum de 200 mm est enregistré dans la wilaya continentale de Naama, située au Sud Ouest de la région.

La tendance globale témoigne d'une variabilité spatiale moyenne de 75%. Elle reflète l'évolution des valeurs minimums et maximums qui reproduisent séparément, des courbes qui évoluent dans le même sens. Ces courbes indiquent en moyenne des minimums pluviométriques compris entre 75 et 79 mm au niveau des wilayas plutôt continentales (El-Bayadh, M'Sila) ; et qui croissent à 486 et 499 mm dans les wilayas du littoral et du sub-littoral, cas de Skikda et de Tizi Ouzou. Les valeurs maximums quant à elles, varient entre 455 et 1 626 mm.

Les fluctuations générales reflètent des pluies qui diminuent de 36% en moyenne, de la RE à la RO du pays.

- Echelle spatio-temporelle

La pluviométrie à l'échelle régionale, montre plus précisément l'évolution de ce facteur dans le temps et dans l'espace (figure 26).

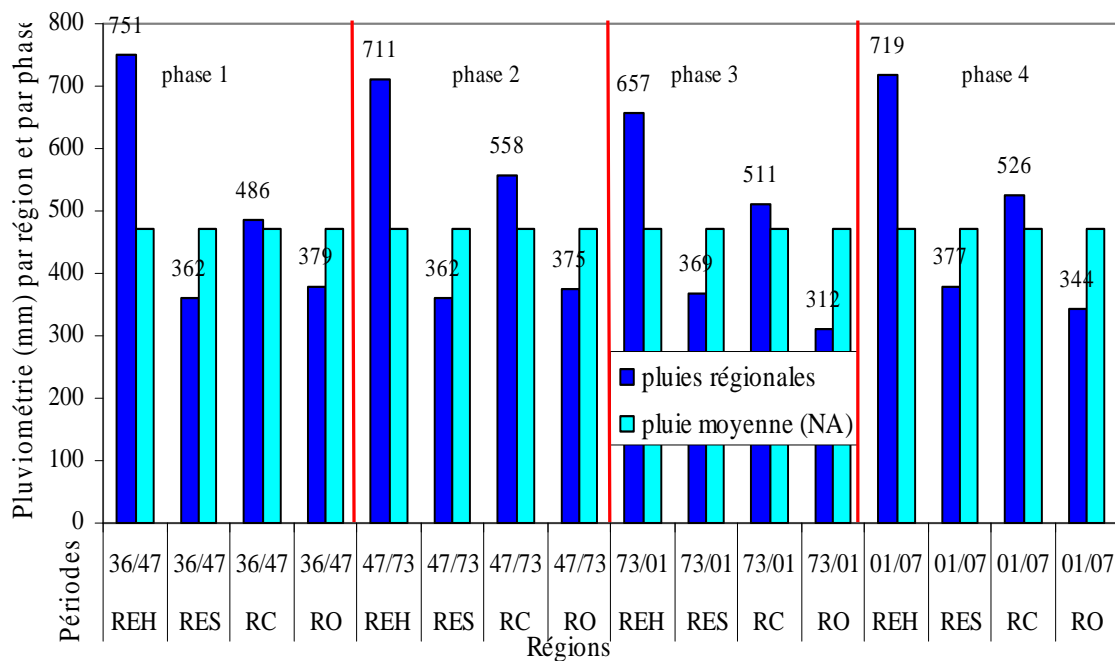


Figure 26. Pluviométrie spatio-temporelle du NA, période (1936-2007).

Les écarts positifs de la phase 1 et 3 (figure 24), sont dus essentiellement aux pluies importantes des wilayas de la RE et celles de la RC, relativement humides. Ces régions reflètent en moyenne, un gain de +53% et de +14% des pluies moyennes du NA.

L'écart négatif de la phase 2, est lié à ceux des wilayas de la RE (-21%) et de la RO (-33%), sèches.

Les écarts pluviométriques régionaux mettent en exergue, la variabilité pluviométrique spatio-temporelle qui est plus importante dans les régions humides, que dans les régions sèches. Elle passe de +47% (RE) et +36% (RC) à +27% (RE) et à +37% (RO). Le gradient pluviométrique décroissant d'Est en Ouest est ainsi, confirmé.

1.1.1.2. Seuil supérieur à 5 mm

L'évolution des $P_{\geq 5\text{mm}}$ suit celle des $P_{\geq 0,1\text{mm}}$. Elle caractérise cependant, une baisse des quantités de P_{Am} significatives ramenant la moyenne générale à 280 mm. Cette moyenne diminue avec l'augmentation du seuil pluviométrique.

1.1.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

Au seuil de $P_{\geq 10\text{mm}}$, la moyenne pluviométrique représente 158 mm, elle est de 69 mm au seuil de $P_{\geq 20\text{mm}}$ et de 29 mm au seuil de $P_{\geq 30\text{mm}}$. Ces pluies nécessaires à la satisfaction des besoins en eau des céréales, deviennent de plus en plus faibles au cours de l'année moyenne.

1.1.2. Description cartographique : Régionalisation

1.1.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

La régionalisation des $P_{\geq 0,1\text{mm}}$ sur la période d'étude, indique des lames d'eaux réparties en 19 classes ou isohyètes, différenciées par une amplitude de 50 mm (figure 27). Ces lames passent d'une classe pluviométrique où le maximum atteint 1 000 à 1 050 mm à une classe pluviométrique où le minimum recueilli, ne dépasse pas 100 à 150 mm. Ces classes de pluies interprètent des écarts positifs et négatifs qui passent du simple au double et même au triple de l'isohyète moyenne (450-500 mm).

Les E_t pluviométriques maximums atteignent +142% et +216%, soit 1,5 à 2 fois plus que la moyenne, alors que les E_t minimums baissent de -32% à -74%, soit 3,5 fois moins, la moyenne de l'aire d'étude. Ces E_t représentent les étages climatiques très humide, humide, sec et très sec. Ils couvrent des territoires dont la pente est supérieure à 30%, telles que les wilayas montagneuses et littorales et des pentes inférieures à 8%, cas des wilayas des plaines continentales.

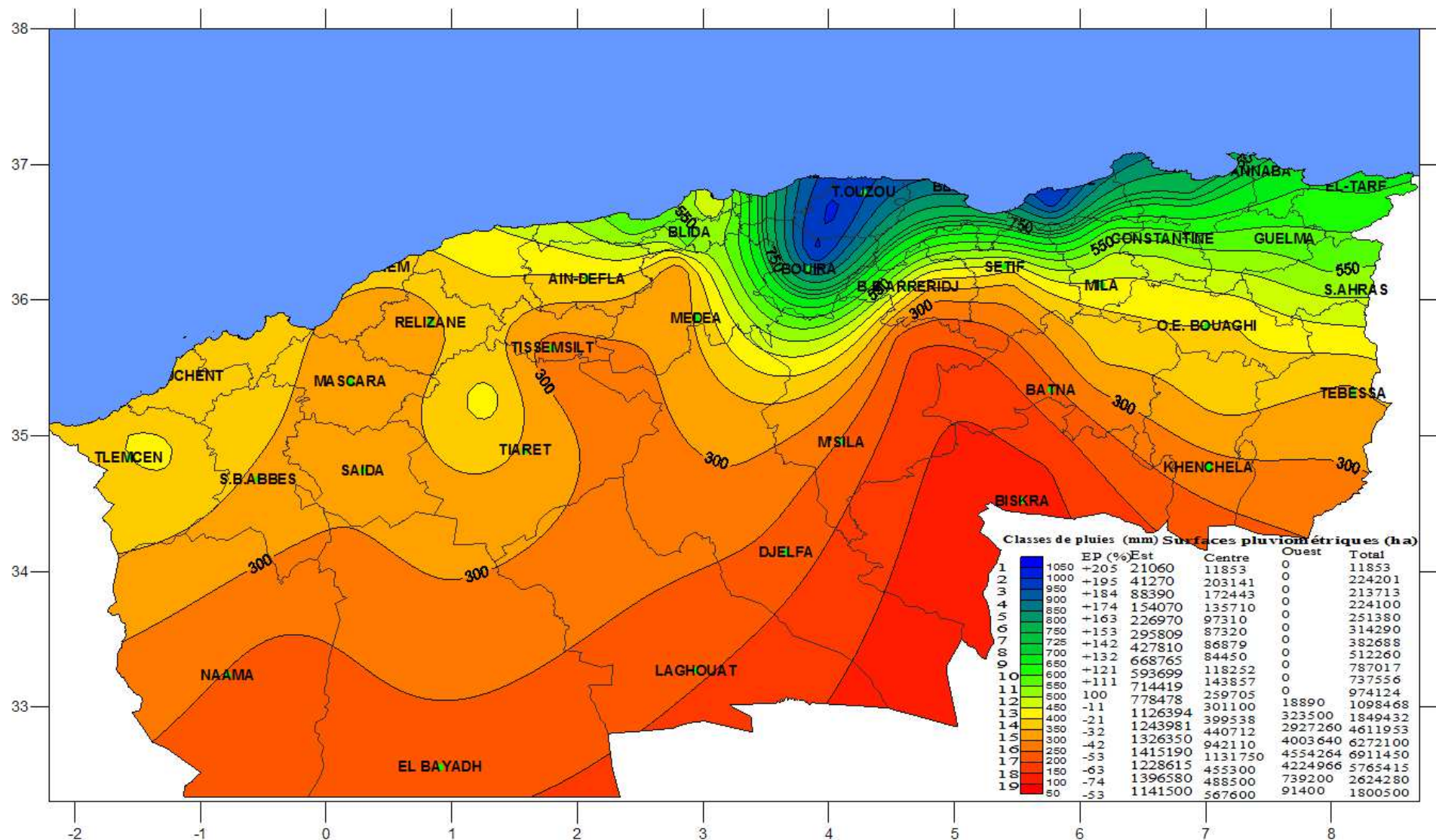


Figure 27. Carte de régionalisation de la pluviométrie annuelle, (1936-2007).

- Classes pluviométriques

Les classes (impluviums) de pluies définies, peuvent se reconstituer en trois groupes pluviométriques (figure 28) en référence aux besoins en eau minimums, moyens et maximums des céréales pluviales qui évoluent sous des climats variables.

- Groupe 1

Ce groupe rassemble les classes pluviométriques de 1 à 8 avec des lames les plus importantes, 650-1 050 mm. Il décrit essentiellement la RE et la RC représentées par des wilayas montagneuses dont l'altitude varie entre 100 et 2 000 m et une pente de 30% à 45%. Ce groupe ne concerne que 6% de l'aire d'étude et ne couvre que 12% de l'aire céréalière. Les P_{Am} sont souvent des averses qui provoquent selon Demmak (1982), des altérations de sols. L'érosion spécifique annuelle moyenne estimée entre 2 000 et 4 000 tonnes/km² selon le même auteur, réduit en conséquence la SAU et les emblavures céréalières.

- Groupe 2

Il récapitule les classes pluviométriques de 9 à 14, soient les isohyètes 350 à 650 mm. En théorie, ces lames d'eau correspondent aux besoins en eau des céréales et représentent selon une première approximation les surfaces potentiellement favorables à la céréaliculture pluviale. Les résultats se résument (figure 27 et 28) comme suit :

Les classes 9, 10 et 11 avec des E_t pluviométriques compris entre +111% et +132%, elles symbolisent les besoins en eau maximums des céréales. Ces classes sont dominantes dans la RE et la RC dont l'altitude est comprise entre 1 000 et 2 000 m avec une pente de 30% à 45%. Leurs impluviums couvrent entre 1 976 885 ha (RE) et 521 814 ha (RC), soit une surface totale de 2,5 millions ha équivalente à 7% de l'aire d'étude. Ces surfaces décrivent des étages climatiques très humides à humides. Les SAU ne dépassent pas 12% et évoluent régressivement de la RE à la RC.

La classe 12 (450-500 mm) ne représente que 3% du territoire Nord. Elle trace le passage de l'étage humide à l'étage sec avec une altitude de 750 à 1 000 m et une pente de 16% à 30%. La SAU réservée à la céréaliculture pluviale est de 6%.

Les classes 13 et 14 avec des E_t pluviométriques de -11% à -21% par rapport à la moyenne, marquent l'étage climatique sec couvrant 18% du territoire. Cet étage représente manifestement, les besoins en eau minimums des céréales. L'altitude moyenne de 750 m et la pente de 8% à 16% témoignent de la diminution des P_{Am} .

A l'échelle régionale, la tranche pluviométrique (350-400 mm) est relativement dominante dans la RO (8%) comparativement à celles de la RE (4%) et de la RC (1%).

Ces caractéristiques potentiellement favorables, couvrent une sole céréalière relativement importante (22%).

- Groupe 3

Ce groupe réunit les classes de pluies de 15 à 19 (100-350 mm) caractérisant des E_t pluviométriques compris entre -32% et -74%. Ces pourcentages synchronisent avec les caractéristiques d'un climat sec à très sec, couvrant 66% du territoire. Les isohyètes 250 à 350 mm balayent à elles seules, 37% de l'aire d'étude, soient toutes les plaines continentales d'altitude moyenne de 700 m et de pente relativement faible ($\leq 8\%$). En dépit des caractéristiques pluviométriques défavorables, la SAU s'avère la plus importante, elle est de l'ordre de 48%.

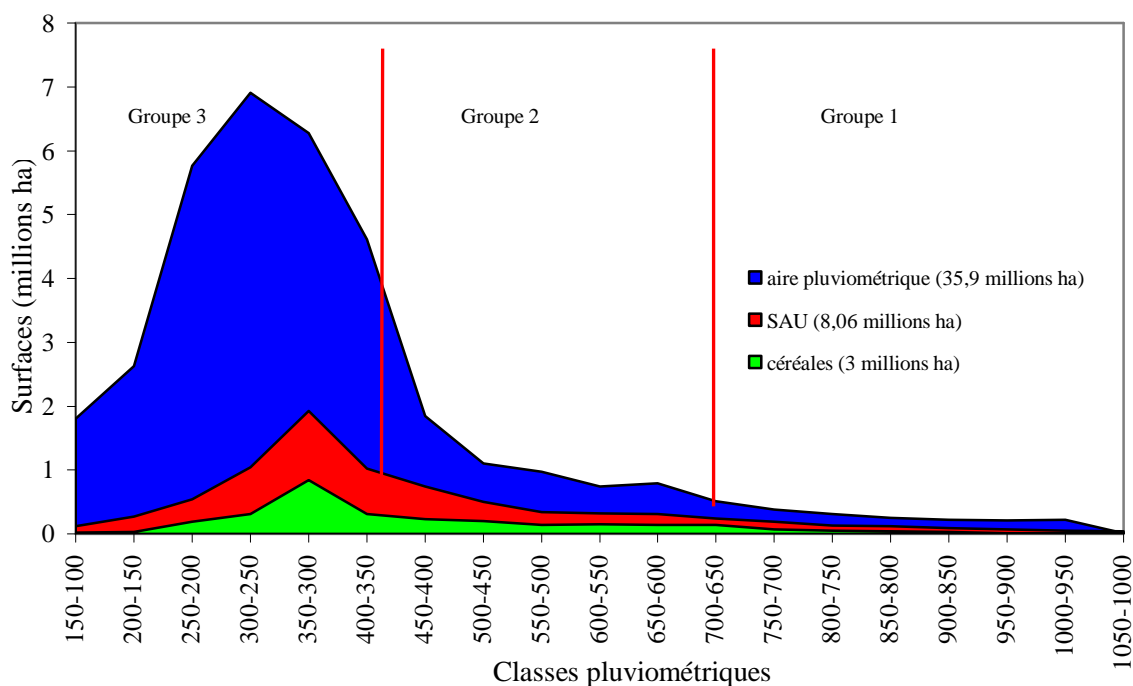


Figure 28. Evolution des SAU et des surfaces céréalières par groupe pluviométrique.

1.1.2.2. Seuil supérieur à 5 mm

La régionalisation des $P_{\geq 5\text{mm}}$ éclaire au mieux les caractéristiques spatiales de ce paramètre (figure 29, carte a).

- Groupe 1 (650-1 050 mm).

Au seuil de $P_{\geq 5\text{mm}}$, le groupe 1 note l'absence des pluies supérieures à 800 mm. Sa surface pluviométrique qui se limite par conséquent, qu'aux wilayas de Jijel et de Tizi Ouzou, ne couvre alors, que 449 767 ha (1% seulement de l'aire d'étude). A ce seuil, ce groupe de pluies indique une diminution de l'aire humide de 21% en référence aux surfaces pluviométriques caractéristiques des $P_{\geq 0,1 \text{ mm}}$. La pente supérieure à 30% réduit davantage les SAU, qui ne dépassent pas 30 553 ha.

- Groupe 2 (350-650 mm).

Au seuil concerné, la surface potentiellement favorable à la céréaliculture pluviale, ne représente que 1 959 245 ha ou 5% du territoire. Ainsi, l'aire humide connaît une diminution spatiale de 81% en référence aux surfaces caractéristiques des pluies supérieures à 0,1 mm. Cette aire couvre une SAU faible, 1 476 167 ha et une céréaliculture pluviale de 595 257 ha, seulement.

- Groupe 3 (100-350 mm).

Ce groupe de pluies occupe la majeure partie de l'aire d'étude, soit une surface pluviométrique qui atteint 33 490 988 ha, ou 93% du total NA. A ce seuil, ce groupe estime l'accroissement de l'aire sèche de 43%. La SAU atteint 6 663 741 ha avec une céréaliculture qui évolue dans le même sens, 2 309 427 ha.

1.1.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

Les cartes (fig.29 b, c, d) montrent la répartition irrégulière des impluviums sur tout l'espace, de l'aire d'étude.

Au seuil de $P_{\geq 10\text{mm}}$, ces impluviums évoluent entre 20-440 mm, soit une fourchette moyenne de 240-280 mm. Au seuil de $P_{\geq 20\text{mm}}$, ils fluctuent entre 10-230 mm avec une classe moyenne de (110-120 mm). Au seuil de $P_{\geq 30\text{mm}}$, ils ne dépassent pas 10-140 mm (classe moyenne, 60-70 mm).

Les impluviums répartis en classes d'amplitudes de 50, 20 et 10 mm, attestent de la diminution des pluies élevées, annuellement. Cette diminution témoigne du passage des surfaces très humide à humide aux surfaces sèche à très sèche, défavorables aux emblavures céréalières, sur tout le NA. Les totaux annuels les plus élevés, sont encore, observés dans les wilayas littorales et sublittorales ; alors que les plus faibles occupent la majeure partie des Hautes Plaines de la RE, de la RC et de la RO.

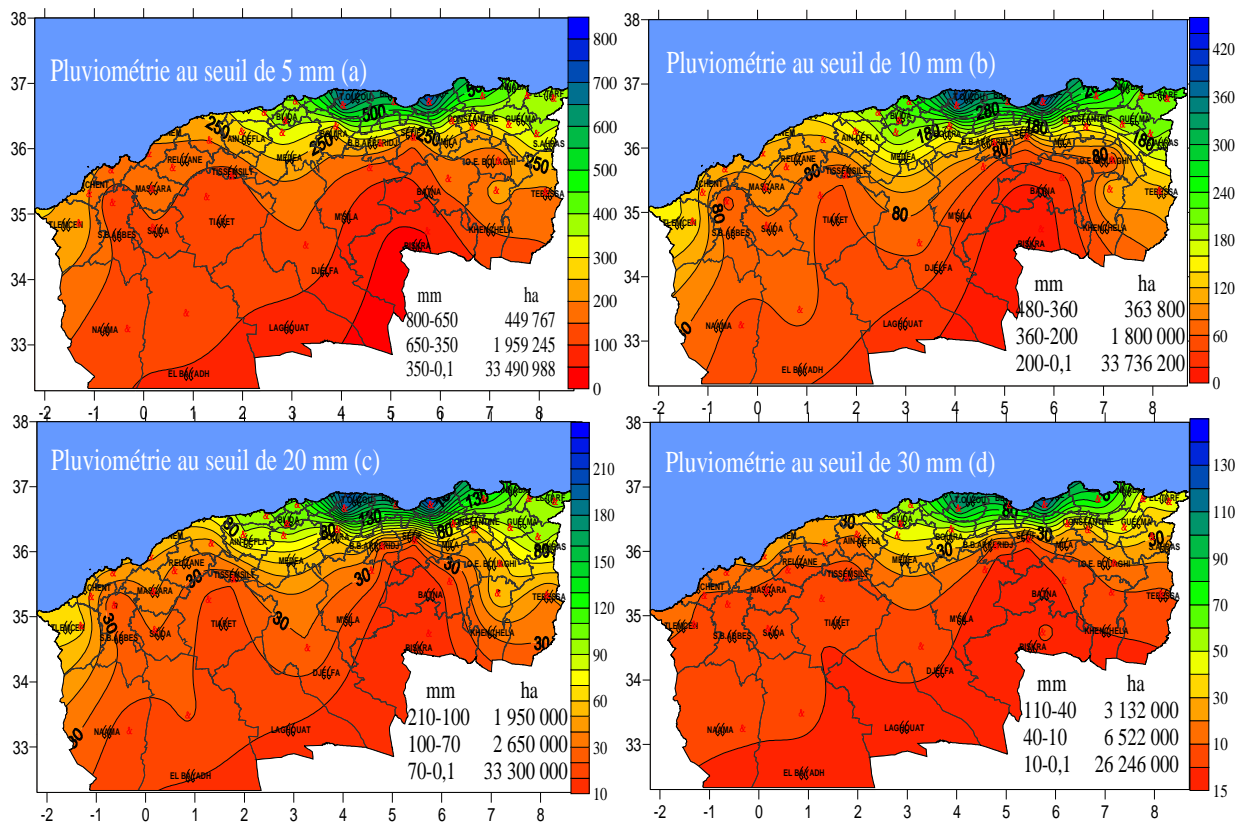


Figure 29. Cartes de la régionalisation des pluies à différents seuils pluviométriques.

L'évolution pluviométrique traduit un déplacement vers le Nord des isohyètes secs à très secs, conduisant à une remontée des surfaces arides et même hyper-arides. Ces résultats qui convergent dans le sens de ceux de Le Houérou (1992) dans la région méditerranéenne, sont dépendants de la répartition du nombre de jp et de js dans l'année.

1.2. Nombre de jours pluvieux

Les cartes (a, b, c, d, e) de la figure 30 retracent l'évolution du nombre de jp annuels, à l'échelle du NA sur 71 ans, aux seuils de $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$.

1.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

Les tracés du nombre de jp annuels diminue de la RE à la RO (fig.30 a). La classe moyenne comprise entre 75-80 j, fluctue entre une fourchette maximum équivalente à 95-125 j dans les régions humides et une fourchette minimum de 25-65 j dans les régions sèches. Cette évolution coïncide avec les fourchettes qui caractérisent les différentes classes pluviométriques du pays.

1.2.2. Seuil supérieur à 5 mm

Le nombre de jp moyen ne dépasse pas 48-52 j, soit une fourchette maximum de 52-82 j dans les régions les plus humides (fig. 30 b) et une fourchette minimum de 26-48 j dans les régions les plus sèches.

1.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

Les différentes cartes (fig.30 c, d) montrent que l'évolution du nombre de jp sur tout le territoire Nord, diminue en relation avec l'augmentation du seuil pluviométrique.

Au seuil de pluie de plus 10 mm, ce nombre atteint les fourchettes de 28-48 j. Aux seuils de plus de 20 et 30 mm, il fluctue entre 16-30 et 3-15 j dans les régions les plus humides. Il ne dépasse pas 5 à 14 j dans les régions sèches. Ce constat relève le caractère peu orageux des P_A dans le Nord du pays.

En effet, les intensités journalières moyennes sont globalement faibles, en liaison avec la prédominance des journées à pluies ≤ 5 mm et qui représentent une moyenne de 33 j dans l'année. Les intensités moyennes des journées à $P_{\geq 5\text{mm}}$, tournent en moyenne autour de 5 et 10 mm/j. Ces résultats qui se rapprochent de ceux de Laouina *et al.* (2004) au Maroc, confirment le caractère erratique et sec des P_{Am} (RE, RC et RO). Les probabilités d'occurrence des js annuels dépassent en effet, 80% quel que soit le seuil considéré.

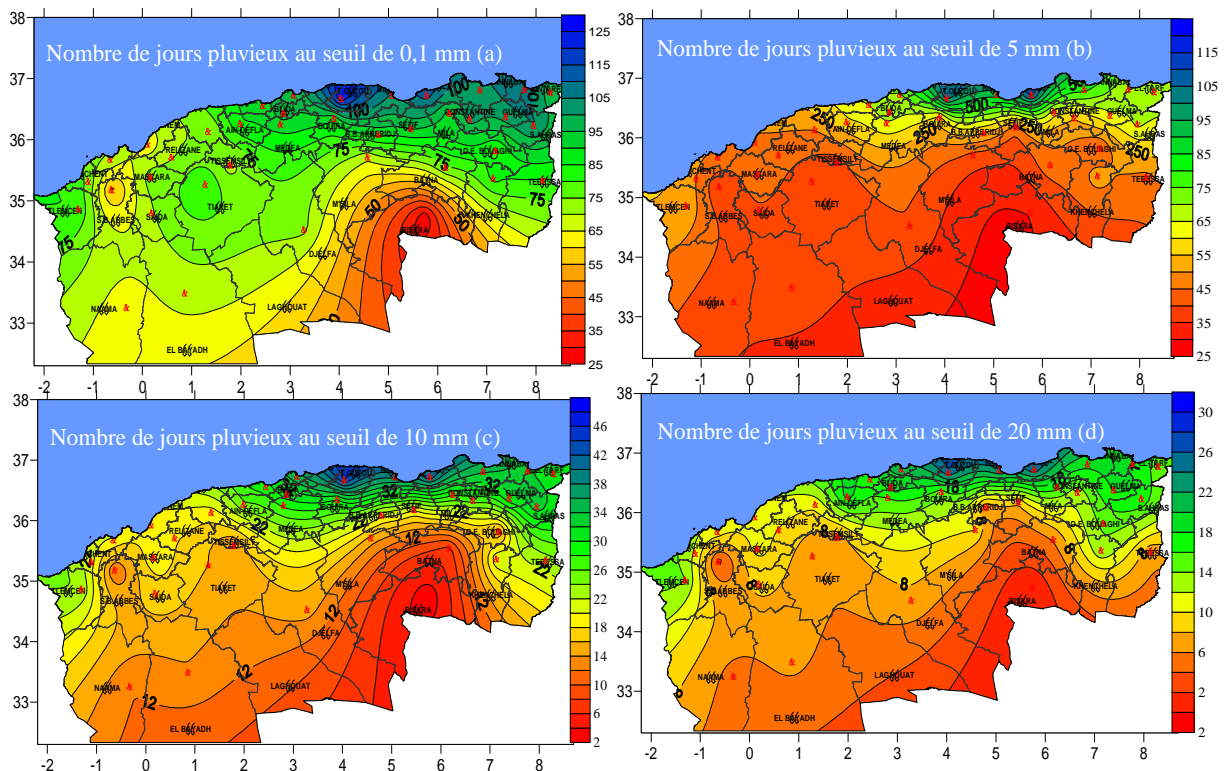


Figure 30. Cartes d'évolution du nombre de jours pluvieux à différents seuils pluviométriques.

La variabilité du nombre de jp et des P_A notamment, est fréquemment évoquée comme étant la première cause des faibles R_d et des P_r des cultures pluviales (Fukui, 1993).

1.3. Cumul pluvieux annuel et nombre de jours pluvieux

A l'échelle régionale (RE, RC, RO), le nombre de jours pluvieux combiné notamment, aux quantités de pluies significatives ($P_{\geq 5mm}$), montre que la variabilité interannuelle des pluies, dépend principalement de celle des jp. La figure 31 confirme cette constatation, elle relève en effet, des R^2 qui dépassent pour la plupart 70%. Ces résultats confirment que le passage des pluies humides aux pluies sèches, s'est fait graduellement par la diminution de jp aux seuils de $P_{\geq 10mm}$, $P_{\geq 20mm}$ et $P_{\geq 30mm}$ sans toutefois, affecter les pluies extrêmes.

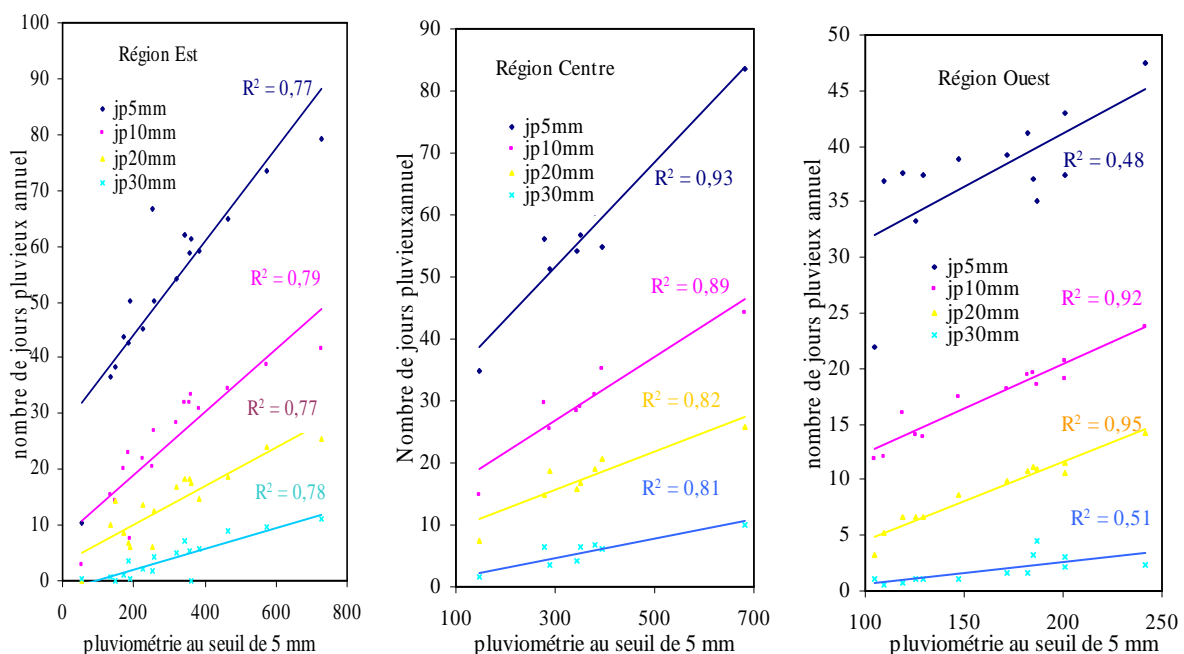


Figure 31. Relation entre le nombre de jours pluvieux et les quantités de pluies supérieures à 5 mm à l'échelle régionale.

1.4. Indices de sécheresses

1.4.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

Le changement des moyennes au cours des phases pluviométriques (figure 24), est précisé par le calcul des E_t pluviométriques, évalué selon l'indice de Nicholson *et al.* (1988). Cet indice montre les caractéristiques des années relativement humides où l'écart est supérieur à la moyenne, soit +10%, elles sont en nombre de 28 années ; celles où l'écart est proche de la

moyenne, elles ne représentent que 14 années et celles relativement sèches où l'écart est inférieur de -10%, soit 29 années. Ces indices confirment les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année sur l'autre. En dépit de cette répartition, le régime pluviométrique dans le temps et dans l'espace, montre que la classe [450-500] mm présente une probabilité d'occurrence comprise entre 40% à 60%, soit un temps de retour équivalent à 2 ans.

Pour des classes pluviométriques de mêmes amplitudes (50 mm), la classe moyenne cache les P_{Am} élevées comprises entre [600-650] mm et qui dominant dans la RE (38%) et la RC (22%), humides. Elle masque aussi, celles qui sont relativement les plus faibles [350-400] et [300-350] mm, mais qui dominant dans la RE (38%) et la RO (46%), sèches. Ces classes de P_{Am} régionales, présentent des caractéristiques d'existences similaires, à celle de la moyenne générale. Le tableau 6 résume les P_n des classes de P_{Am} très humides, humides, normales, sèches et très sèches selon la définition adoptée.

Tableau 6. Classes pluviométriques (mm) dominantes et probabilités de non dépassement (P_n , %) à l'échelle régionale et à l'échelle du NA, sur 71 ans.

Classes	Nord Algérie	% P_n	RE humide	RE sèche	RC humide	RO sèche
			450-500			150-200
	350-400 (TS)	1-20	500-550	200-250	350-400	200-250
	400-450 (S)	20-40	550-600	250-300	400-450	250-300
	450-500 (N)	40-60	600-650	300-350	450-500	300-350
	500-550 (H)	60-80	650-700	350-400	500-550	350-400
	550-600 (TH)	80-100	700-750	400-450	550-600	400-450
			750-800	450-500	600-650	450-500
			800-850		650-700	
			850-900		700-750	
			900-950			

- La classe très sèche (TS) correspond à la P_n comprise entre [1-20] %. Elle présente en moyenne 10% de chance pour qu'elle soit dépassée chaque année (1 an).
- La classe de pluie sèche (S) définie une P_n comprise entre [20-40] %. Elle présente en moyenne 30% de chance qu'elle ne se produise pas toutes les 2 à 3 ans.
- La classe de pluie normale (N) définie une P_n de [40-60] %, soit un retour tous les 2 ans, sur la période (1936-2007).
- La classe de pluie humide (H) définie une P_n estimée à [60-80] %, autrement dit, cette classe présente 70% de chance qu'elle se produise sur une période de 10 ans.

- La classe de pluie très humide (TH) définie une P_n comprise entre [80-100] %, soit une probabilité moyenne de 90% pour qu'elle dépasse la période de retour de 10 ans.

Sur le plan climatique, l'aire d'étude est caractérisée par la quantité pluviométrique moyenne [450-550] mm ; mais qui reste mal répartie à l'échelle régionale relevant, une sécheresse plus prononcée sur la partie occidentale que sur la partie orientale du pays.

1.4.2. Seuils supérieurs à 5, 10, 20 et 30 mm

La figure 32 montre que l'évolution des pluies moyennes aux différents seuils, diminue progressivement avec l'augmentation du seuil pluviométrique, dans l'ensemble des wilayas considérées.

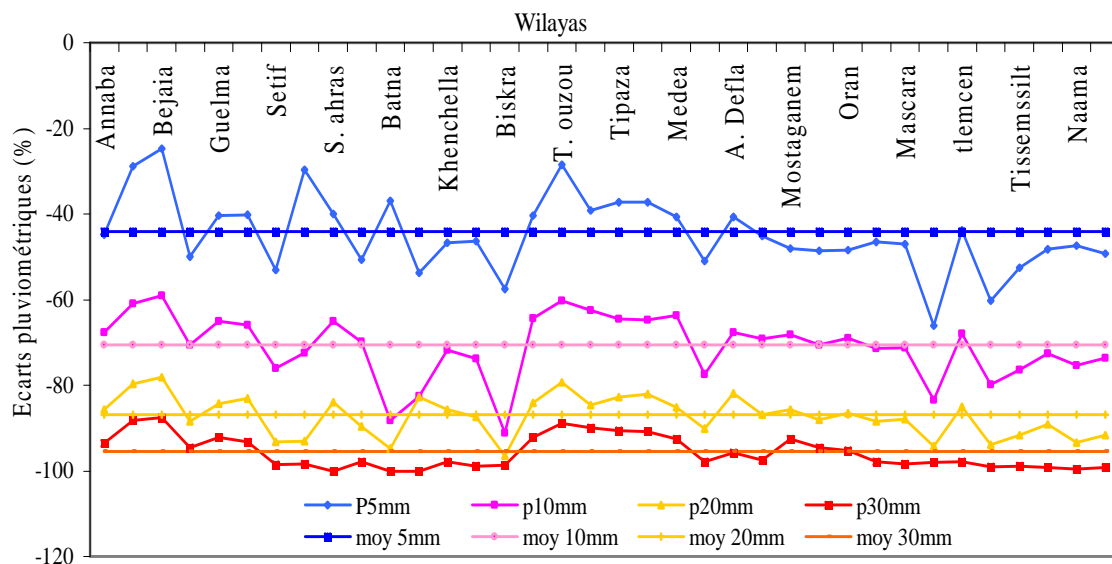


Figure 32. Ecarts des pluies supérieures à 5, 10, 20 et 30 mm en référence au seuil de 0,1 mm.

Au seuil de $P_{\geq 5\text{mm}}$, cette évolution enregistre de la RE à la RO, un E_t pluviométrique compris entre -25% et -66%, soit une moyenne de -40% par rapport à la normale ($P_{\geq 0,1\text{mm}}$). Ce pourcentage atteint des moyennes de -66%, -85% et -93% aux seuils respectifs de $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$. Ces chiffres confirment la faiblesse des pluies significatives traduisant de fortes contraintes hydriques sur l'ensemble des wilayas. Ces contraintes à l'origine de régimes pluviométriques secs, expliquent en plus de la situation topographique (pente en majorité abrupt), la vulnérabilité de la céréaliculture à produire, annuellement. Comme, elles

expliquent partiellement, les rendements annuels qui n'ont pas connu d'amélioration, depuis près d'un siècle.

Les résultats obtenus, convergent dans le sens de la définition de l'OMM (1996) rapporté par le MEMRM (2010) et qui relève que tout système de production qui enregistre une diminution de la pluie annuelle d'au moins 40% annuellement par rapport à la moyenne, est vulnérable à produire.

Conclusion

La pluie annuelle moyenne du NA est estimée à 470 mm, sur 71 ans. Elle fluctue entre 300 et 650 mm/an à l'échelle globale, décrivant l'alternance d'épisodes secs et humides. La grandeur des fluctuations est démontrée par les pourcentages de variations dans le temps (34%) et dans l'espace (75%). Ces chiffres évaluent avec précision la pluviométrie de l'aire d'étude, par rapport à la classe moyenne de [450-500] mm qui représente le climat moyen. Cette moyenne différencie les surfaces pluviométriques très humide (2 134 485 ha), humide (3 597 165 ha), sèche (6 461 385 ha) et très sèche (23 706 965 ha) à travers les quantités pluviométriques reçues et le nombre de jours pluvieux dans l'année. Ces caractéristiques climatiques relèvent des surfaces pluviométriques de plus en plus sèches en relation avec l'augmentation des seuils pluviométriques (supérieurs à 5, 10, 20 et 30 mm). Elles relèvent que 7% seulement du territoire sont relativement arrosés, alors que 93% restent inférieurs à la moyenne bénéficiant d'un régime sec. Les surfaces pluviométriques éventuellement favorables à la céréaliculture (≥ 350 mm) sont ainsi, séquestrées aux wilayas montagneuses et aux pentes supérieures à 30% ; tandis que celles qui sont relativement défavorables (≤ 350 mm), occupent davantage les plaines supposées les plus fertiles de l'aire d'étude.

L'évolution des pluies annuelles dans le temps et dans l'espace, estime éventuellement la variabilité des ressources en eau à l'origine des sécheresses agricoles annuelles.

2. Pluviométrie mensuelle

La pluviométrie mensuelle moyenne est estimée à travers le calcul des quantités de pluies reçues mensuellement et le nombre de jours pluvieux et secs. Ces paramètres sont évalués statistiquement et cartographique-ment.

2.1. Quantité pluviométrique

La répartition des quantités pluviométriques reçues mensuellement, est estimée à des seuils supérieurs à 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm.

2.1.1. Description statistique

2.1.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

Les variations des P_{Mm} sont reproduites par des courbes de tendance mettant en évidence les niveaux de ruptures de Septembre (S) à Août (Ao), de la RE à la RO en comparaison à la moyenne (NA). Ces ruptures sont indiquées par les flèches dans le graphique (figure 33).

- Septembre octobre novembre

Septembre avec une lame d'eau moyenne de 26 mm, représente le début des pluies de la saison automnale. Cette valeur masque les minimums enregistrés dans la RE (24 mm) et la RO (18 mm) et le maximum recueilli dans la RC. Les pluies atteignent leurs maximums en novembre (N), soit une P_{Mm} de 60 mm fluctuant entre 41 et 78 mm, à l'échelle régionale. La saison automnale cumule moyennement 27%. Ce chiffre différencie un cumul de 25% dans la RE, 28% dans la RC et 26% dans la RO.

- Décembre, janvier, février

Le mois de décembre (D) avec une moyenne de 76 mm et janvier (J) avec 69 mm, sont les mois les plus arrosés du NA. De la RE à la RO, ces quantités ne dépassent pas 107 et 87 mm d'un mois à l'autre. Le mois de Février (F) enregistre quant à lui, une diminution des quantités de pluies relevant une moyenne de 57 mm (NA). Dans les wilayas continentales sèches, ce mois caractérise fréquemment un total pluviométrique relativement bas, comparativement aux mois qui l'encadrent. C'est le cas des wilayas de Sétif, M'sila, Djelfa, Mascara. Sa durée de 10% inférieure à celle du mois de J et de M, se traduirait à pluviométrie égale, par un total mensuel plus faible. Les pluies hivernales enregistrent une moyenne de 42% du total reçu, annuellement. La RE reçoit 49%, la RC recueille 40% et la RO, 39%.

- Mars avril mai

Le mois de mars (M) enregistre une moyenne générale en baisse, 49 mm. Cette valeur cache les lames d'eaux maximums de la RE (63 mm) et de la RC (53 mm) et minimums de la RO (38 mm). Le mois d'avril (A) est relativement sec. La moyenne de 39 mm varie entre 41 (RE), 43 (RC) et 34 (RO) mm. Quant à mai (Ma), les premiers orages de chaleurs fournissent parfois des pluies non négligeables, supérieures (RE, 45 mm) ou proches (RC, 42 mm) de celles d'avrils. La saison printanière cumule seulement, 26% de la pluie annuelle, soit 23% dans la RE, 25% dans la RC et 29% dans la RO.

- Juin juillet août

Les mois de juin (Ju), juillet (Jt) et août (Ao) montrent de véritables ruptures des P_{Mm} . Ces ruptures indiquent la fin des pluies dans les trois régions, avec une moyenne de 5% à l'échelle de l'aire d'étude. Un régime saisonnier de type hiver-automne-printemps-été (HAPE) caractérise la RE et la RC, tandis qu'un régime de type HPAE reflète la RO.

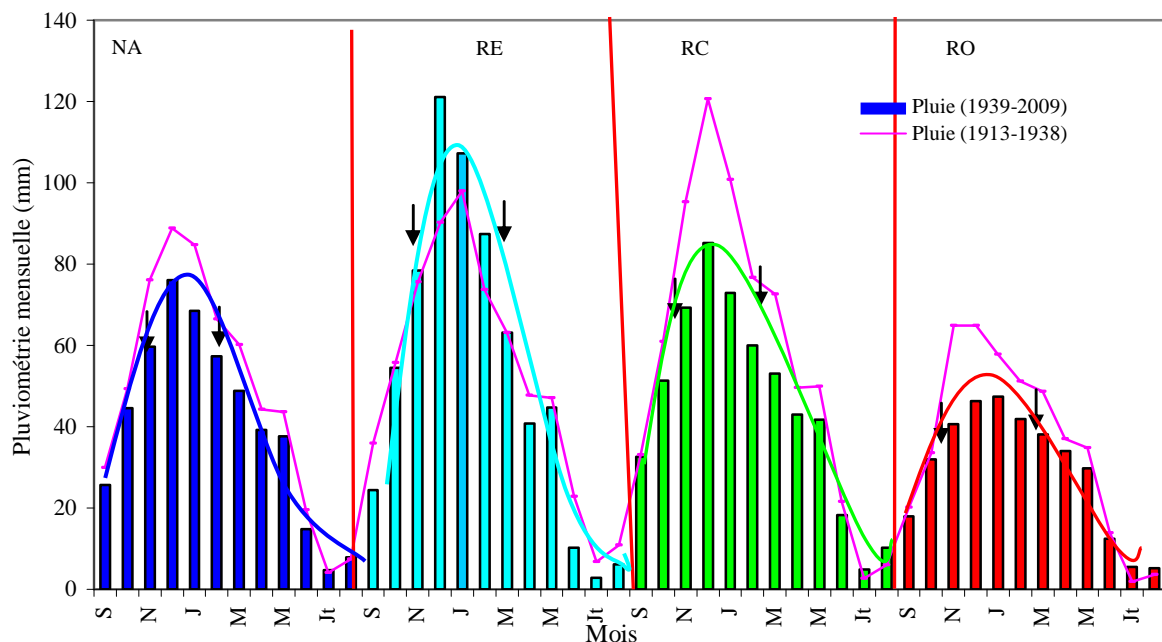


Figure 33. Fluctuation des pluies mensuelles supérieures à 0,1 mm à l'échelle régionale en comparaison à la moyenne générale, sur 71 ans.

De manière générale, les pluies mensuelles relèvent des variations sensiblement les mêmes dans les stations des wilayas du littoral et du sublittoral de la RE à la RO. Elles sont moins sensibles dans les plaines de ces régions. Cette répartition est caractéristique du climat méditerranéen. Mais, au seuil de $P_{\geq 0,1mm}$ et au pas de temps choisi, la pluviométrie affirme-elle dès lors, que le début des pluies commence effectivement aux premières averses notamment, en rapport avec l'agriculture comme déjà souligné par Van Vyve (2006), dans ces travaux.

2.1.1.2. Seuil supérieur à 5 mm

- Septembre octobre novembre

A ce seuil, même si S caractérise le mois où débute les pluies, le cumul mensuel reste moins

important de la RE (24 mm) à la RO (12 mm). La moyenne du NA fixée à 18 mm, représente un E_t pluviométrique de -31% par rapport aux pluies totales du mois (figure 34). En O et en N les pluies moyennes ne dépassent pas 32 et 45 mm.

La saison moyenne totalise 29% des pluies significatives (NA). Ce chiffre est relativement stable à l'échelle régionale, il est compris entre 29% (RE, RC) et 30% (RO). La saison enregistre ainsi, une perte de 17% de pluies inférieures à 5 mm.

- Décembre, janvier, février

Les pluies de D (59 mm), de J (47 mm) et de F (45 mm) représentent un total saisonnier moyen de 122 mm, soit un pourcentage de 44% des P_A significatives. Ce pourcentage coïncide avec la moyenne dans la RE ; il est supérieur à la moyenne (45%) dans la RC et il est relativement inférieur à la moyenne (42%) dans la RO. Ces pourcentages de pluies permettent le tallage des céréales.

- Mars, avril, mai

Les quantités pluviométriques de M (23 mm), A (24 mm) et Ma (22 mm) caractérisent une saison printanière qui ne majorent, que 25% des P_A significatives. Ce pourcentage coïncide avec la moyenne dans la RE (24%) et la RC (25%) ; il est relativement supérieur à la moyenne dans la RO (27%). Le 1/4 des P_A significatives, permet par conséquent, la fructification et la maturation des grains céréaliers. A cette saison, la pluviométrie marque une perte de $P_{\geq 0,1\text{mm}}$ d'environ 15%.

2.1.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

A ces seuils et selon la même figure 34, les pluies du NA diminuent graduellement d'un mois à l'autre.

Au seuil de $P_{\geq 10\text{mm}}$, les lames d'eaux des mois d'automne, d'hiver et de printemps ne représentent alors, que 14%, 23% et 16% du total des P_A significatives (≥ 5 mm).

Aux seuils respectifs de $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$, ces chiffres deviennent négligeables (<2%).

Aux seuils considérés, les courbes de P_{Mm} suivent la même évolution que celles des $P_{M\geq 0,1\text{mm}}$; même si les quantités pluviométriques mensuelles, sont de plus en plus faibles.

Toutefois, les quantités d'eaux plus élevées dans la RE suivie de la RC, sont dues aux valeurs maximums enregistrées dans les wilayas littorales et sublittorales, mais montagneuses telles que les wilayas d'El-Taref, Annaba, Jijel, Bejaia, Constantine, Guelma et Mila ; Tizi Ouzou, Médea et Blida. Ces quantités compensent globalement les valeurs minimums enregistrées

dans les wilayas plus continentales, planes et sèches.

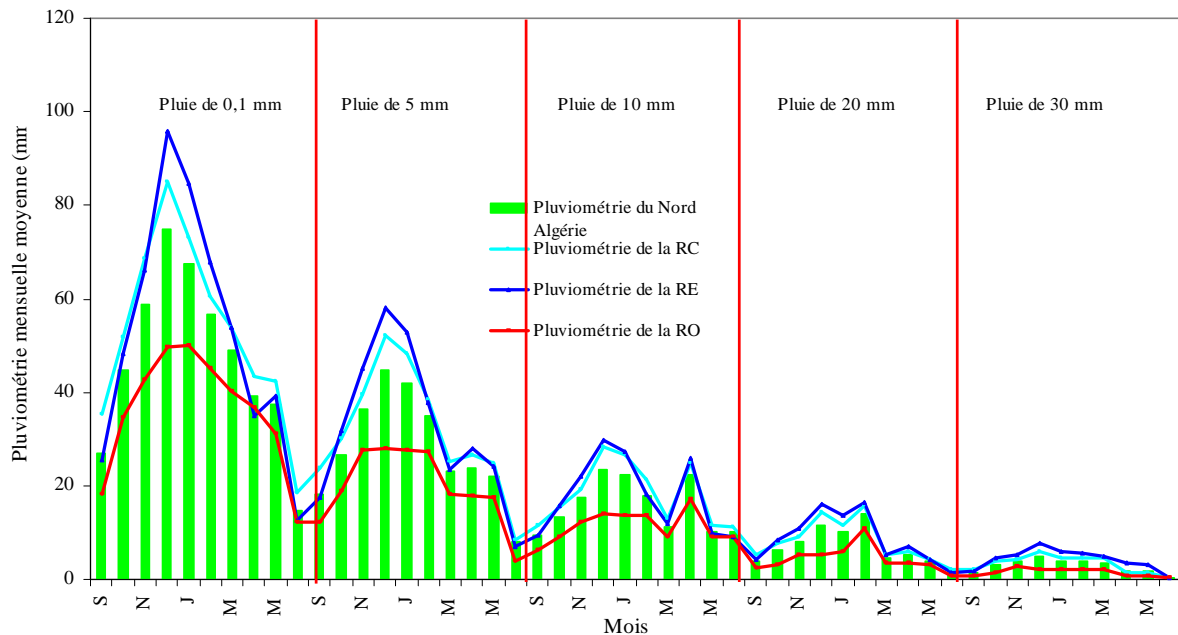


Figure 34. Répartitions mensuelles moyennes à différents seuils pluviométriques, de la RE à la RO.

2.1.2 Description cartographique : Régionalisation

La similitude des régimes pluviométriques dans la plupart des wilayas du NA, entraîne la similitude des cartes pluviométriques mensuelles du mois S à Ju sur la moyenne de 71 ans. Chacune d'elle rappelle par l'allure générale des tracés, l'importance de l'évolution spatiale de ce paramètre au seuil de 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm.

2.1.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

La régionalisation des pluies de S à Ju montre des impluviums dont les tracés irréguliers évoluent entre des classes pluviométriques d'amplitudes comprise entre 4 et 50 mm. Ces classes matérialisent les E_t pluviométriques par rapport aux moyennes régionalisées (figure 35).

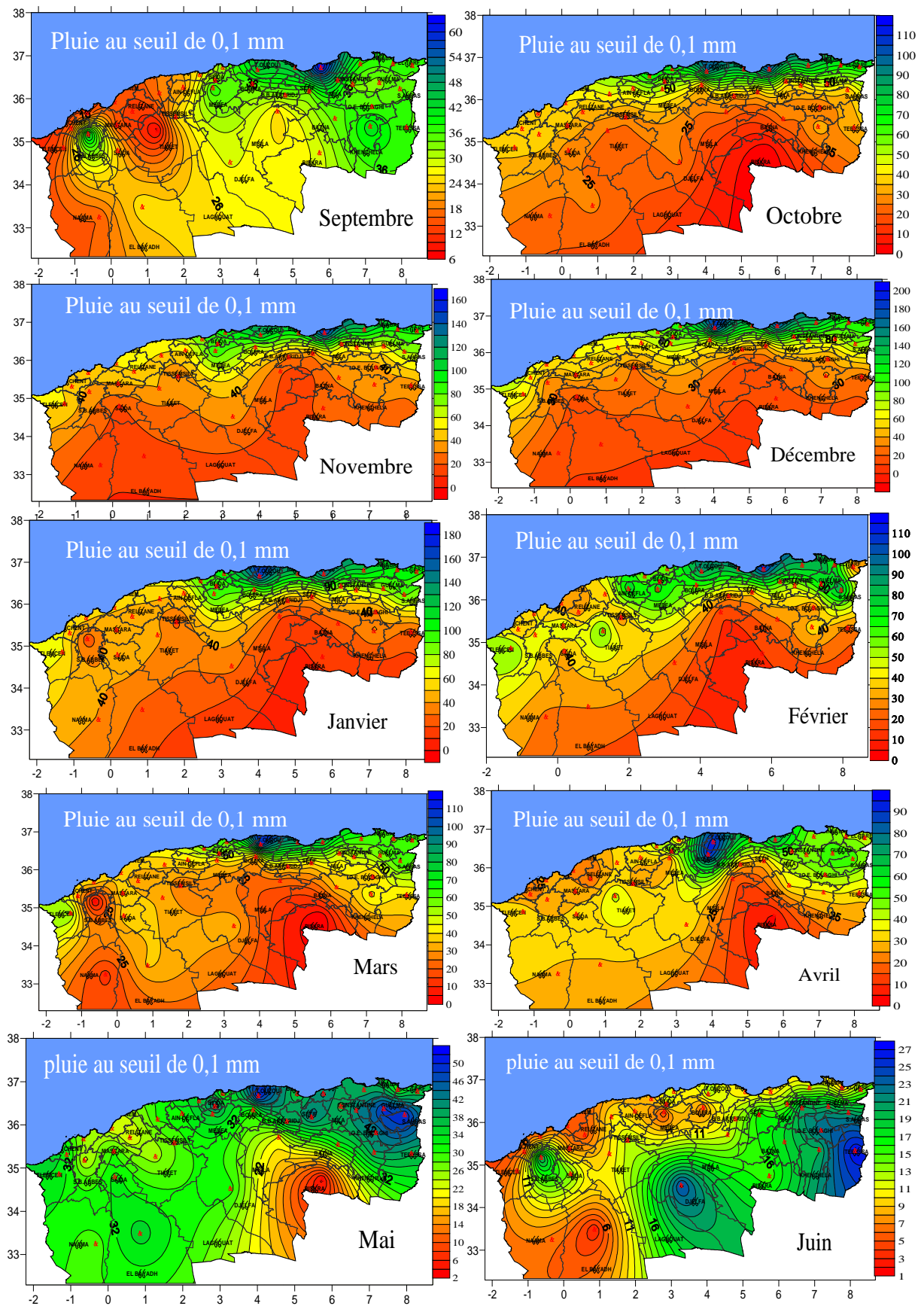


Figure 35. Cartes de régionalisation des pluies supérieures à 0,1 mm de septembre à mai.

- Septembre, octobre, novembre

La régionalisation des pluies de S montre des quantités comprises entre 10 et 62 mm, soit une moyenne de 34-38 mm. Cette moyenne est plus élevée en O (60-65 mm) et en N (80-90 mm) distinguant des quantités qui fluctuent respectivement entre (10-115 mm) et (10-160 mm). Ces fourchettes fixent habituellement, l'installation des semis céréaliers.

Les valeurs supérieures aux moyennes, caractérisent les wilayas littorales et sublittorales, mais montagneuses. Les valeurs inférieures aux moyennes, recouvrent les bas versants et les grandes plaines, où la céréaliculture domine.

- Décembre, janvier et février

La régionalisation des pluies de D, J et F trace les limites des lames d'eau les plus élevées en relation avec les besoins en eau des céréales, besoins estimés entre 45-60 mm. Ces quantités couvrent l'ensemble des impluviums où notamment, les céréales sont habituellement emblavées, d'Est en Ouest.

- Mars, avril et mai

La régionalisation des pluies de M, A et Ma montre davantage les spécificités spatiales des SP. Mars avec des pluies moins importantes que les mois qui le précèdent, reçoit dans les wilayas littorales et sublittorales, entre 55-115 mm et dans les wilayas continentales, entre 10-55 mm. Ces quantités de pluies diminuent en A (≤ 30 mm) et en Ma (≤ 28 mm) dans les aires les plus arrosées, du territoire. Ainsi, des E_t pluviométriques importants s'observent en relation avec les besoins en eau mensuels supérieurs à 60 mm, sur tout le NA.

2.1.2.2. Seuil supérieur à 5 mm

La régionalisation de ce paramètre au seuil de $P_{\geq 5\text{mm}}$, distingue les caractéristiques mensuelles des impluviums agricoles, de l'aire d'étude (figure 35a).

- Septembre, octobre, novembre

Les surfaces pluviométriques de S, O et N reçoivent entre 4-42, 5-100 et 5-95 mm. Leurs moyennes respectives de 22-24, 45-50 et 50-55 mm soulignent des E_t moyens, qui atteignent -38%, -50% et -35% en référence aux $P_{\geq 0,1\text{mm}}$.

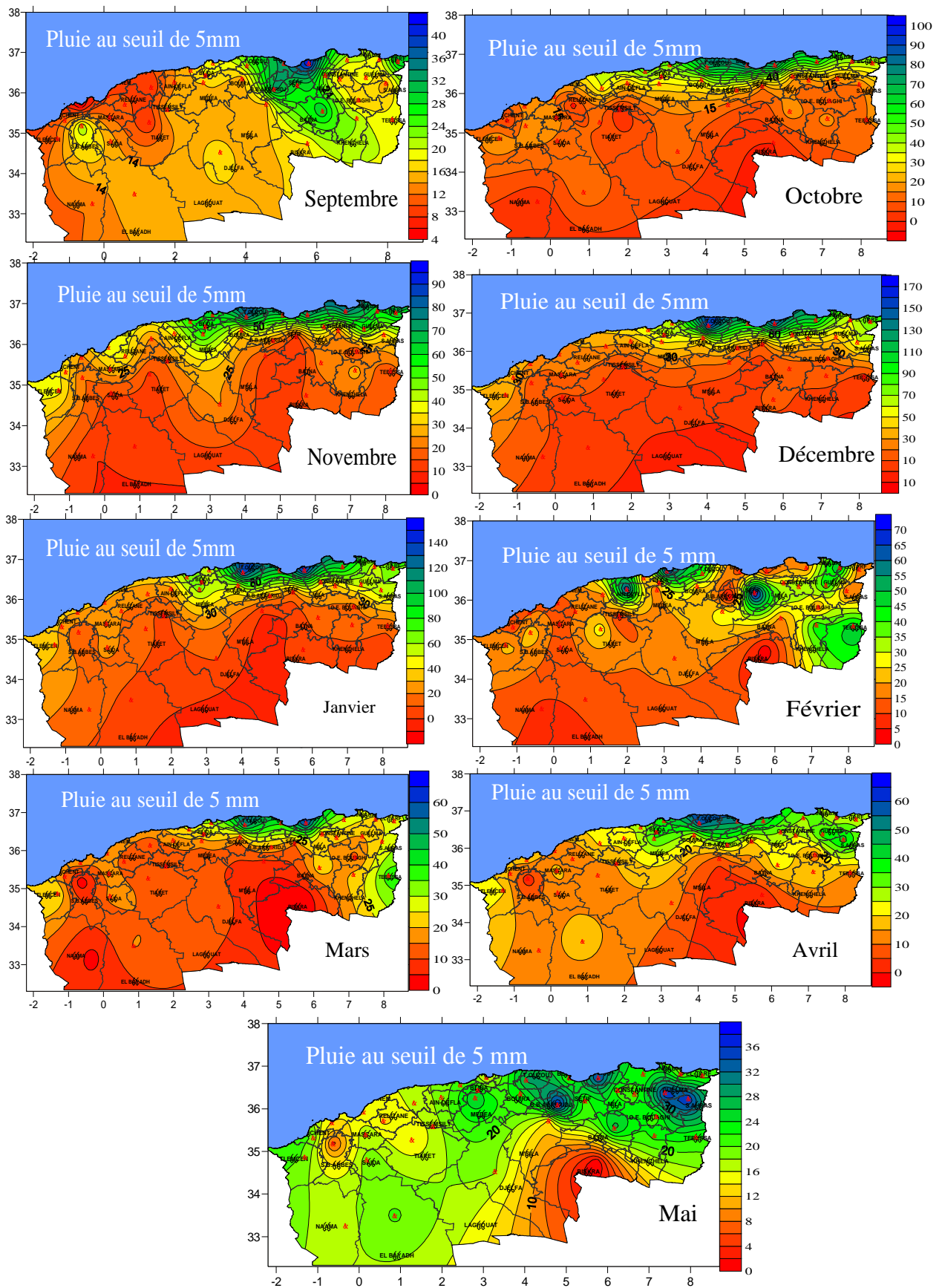


Figure 35 (a). Cartes d'évolution des pluies supérieures à 5 mm, de septembre à mai.

- Décembre, janvier, février

La régionalisation de la pluie de ces mois, montre les impluviums les plus arrosés de l'année moyenne. En D la classe moyenne est de 80-90 mm, elle fluctue entre un minimum de 10 mm et un maximum de 170 mm. En J, cette classe recueille des pluies moyennes de 70-80 mm, soient des quantités qui fluctuent entre 10-150 mm. Quant à F, la classe moyenne de 45-50 mm enregistre un minimum de 10 mm et un maximum de 115 mm, de la RE à la RO du pays.

- Mars, avril et mai

Au seuil de $P_{\geq 5\text{mm}}$, les impluviums des mois de M, A et Ma montrent la répartition des pluies les plus faibles, du NA (figure 44). De l'ordre de 5-65 mm durant les deux premiers mois, elles passent à 2-38 mm au cours du troisième mois. Elles étalent au mieux les résultats de sécheresses obtenus, précédemment.

En effets, les E_t moyens calculés en référence aux $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, sont récapitulés comme suit : $-52\% < M < -57\%$; $-32\% < A < -45\%$ et $-45\% < Ma < -37\%$. Ces chiffres montrent une fois de plus, la régression des surfaces humides au dépend de l'extension des surfaces sèches à l'échelle mensuelle, sur l'ensemble du territoire.

2.1.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

- Septembre, octobre, novembre

A ce seuil de $P_{\geq 10\text{mm}}$, les SP cumulent au mois de S entre 2-19 mm, soit la moyenne de 10-11 mm. Au mois d'O, elles réunissent les pluies entre 2-45 mm, soit la moyenne de 24-22 mm et en N, ces SP ne dépassent guère les lames d'eau comprises entre 4-52 mm, soit la moyenne de 24-28 mm de la RE à la RO (figure 35b).

- Décembre, janvier, février

Au cours des mois de D, J et F, d'une classe à l'autre et d'un seuil à un autre les SP reçoivent des quantités d'eaux de plus en plus réduites. Ces caractéristiques traduisent des impluviums très secs sur tout le Nord du territoire.

- Mars, avril, mai

Au cours de ces mois, les quantités d'eaux caractéristiques des SP deviennent encore très négligeables, d'un mois à l'autre, sur l'ensemble de l'aire d'étude. Elles marquent notamment, la fin des P_M du cycle agricole avec des quantités les plus faibles, au seuil de $P_{\geq 30\text{mm}}$.

De manière générale, les SP des mois d'automne, d'hiver et de printemps aux seuils de $P_{\geq 5\text{mm}}$ et plus, notent de fortes réductions des surfaces humides en comparaison à celles des $P_{\geq 0,1\text{mm}}$.

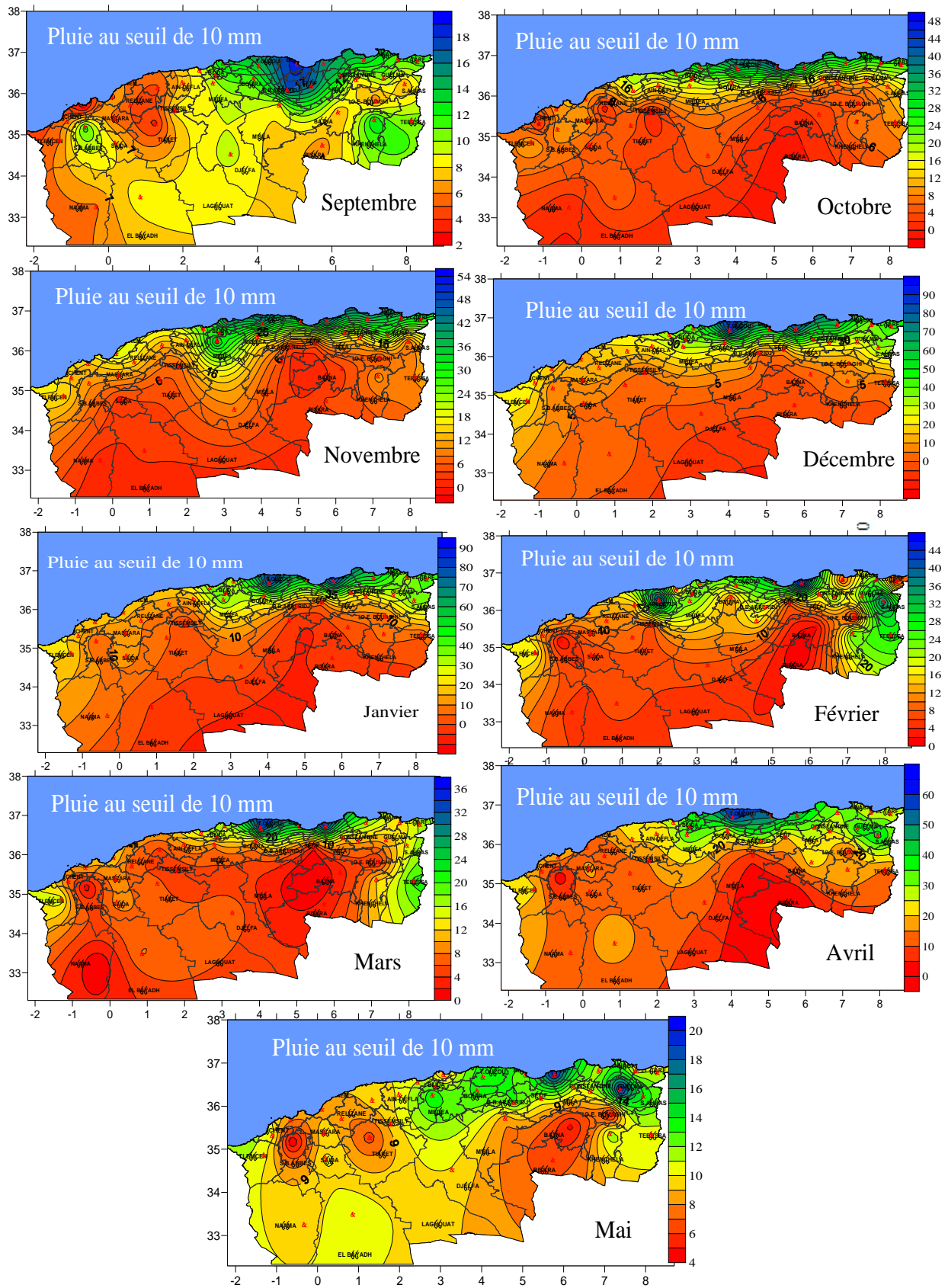


Figure 35 (b). Cartes d'évolution des pluies mensuelles supérieures à 10 mm.

- Aux seuils de $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$, ces quantités de pluies deviennent faibles d'un mois à l'autre et sont négligeables dans les plaines céréalières sèches et très sèches. Elles ne dépassent pas en S 7-10 mm. En O et en N, elles sont comprises entre 25-35 mm et 13-26 mm (figure 35c et d).

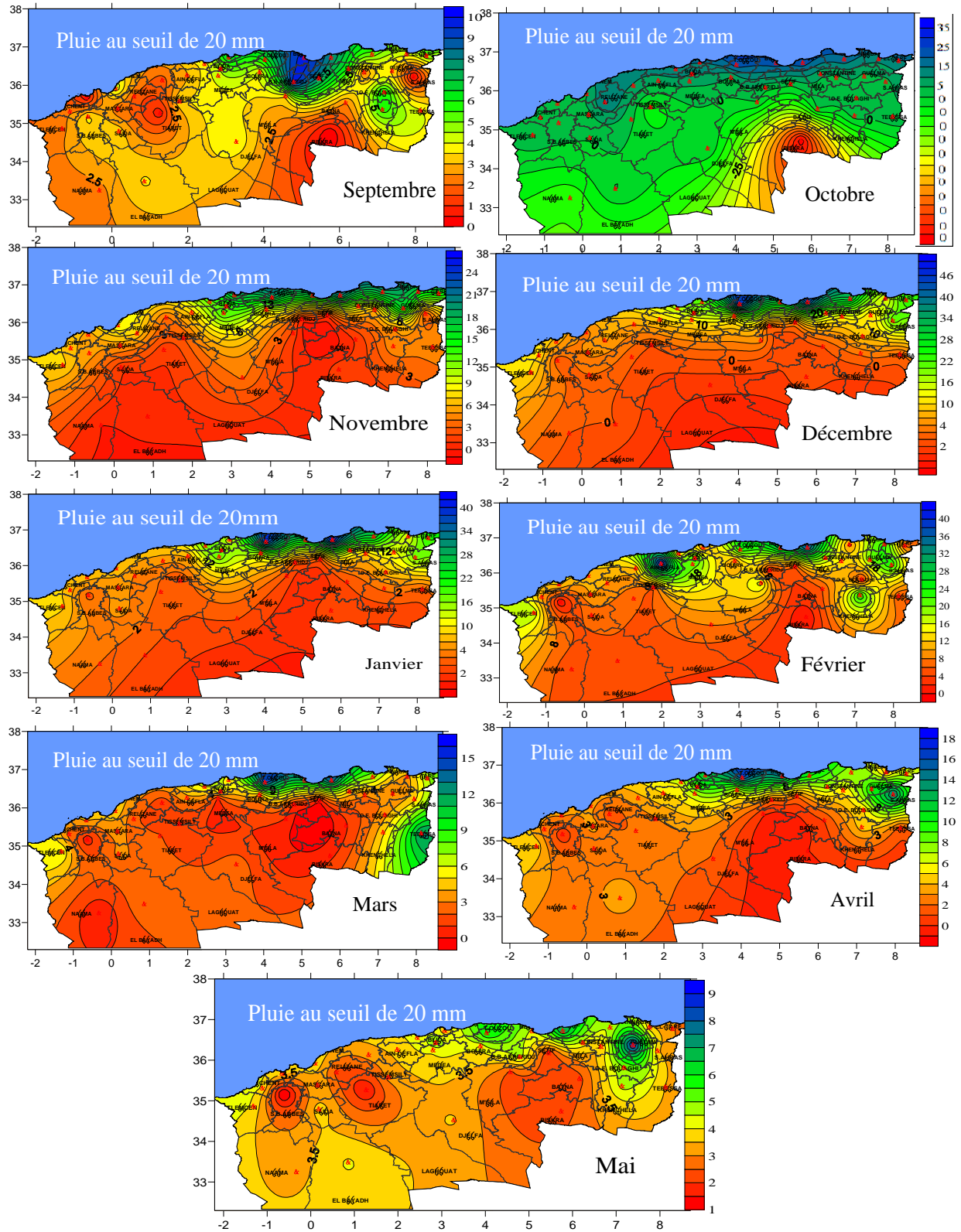


Figure 35 (c). Cartes d'évolution des pluies mensuelles supérieures à 20 mm.

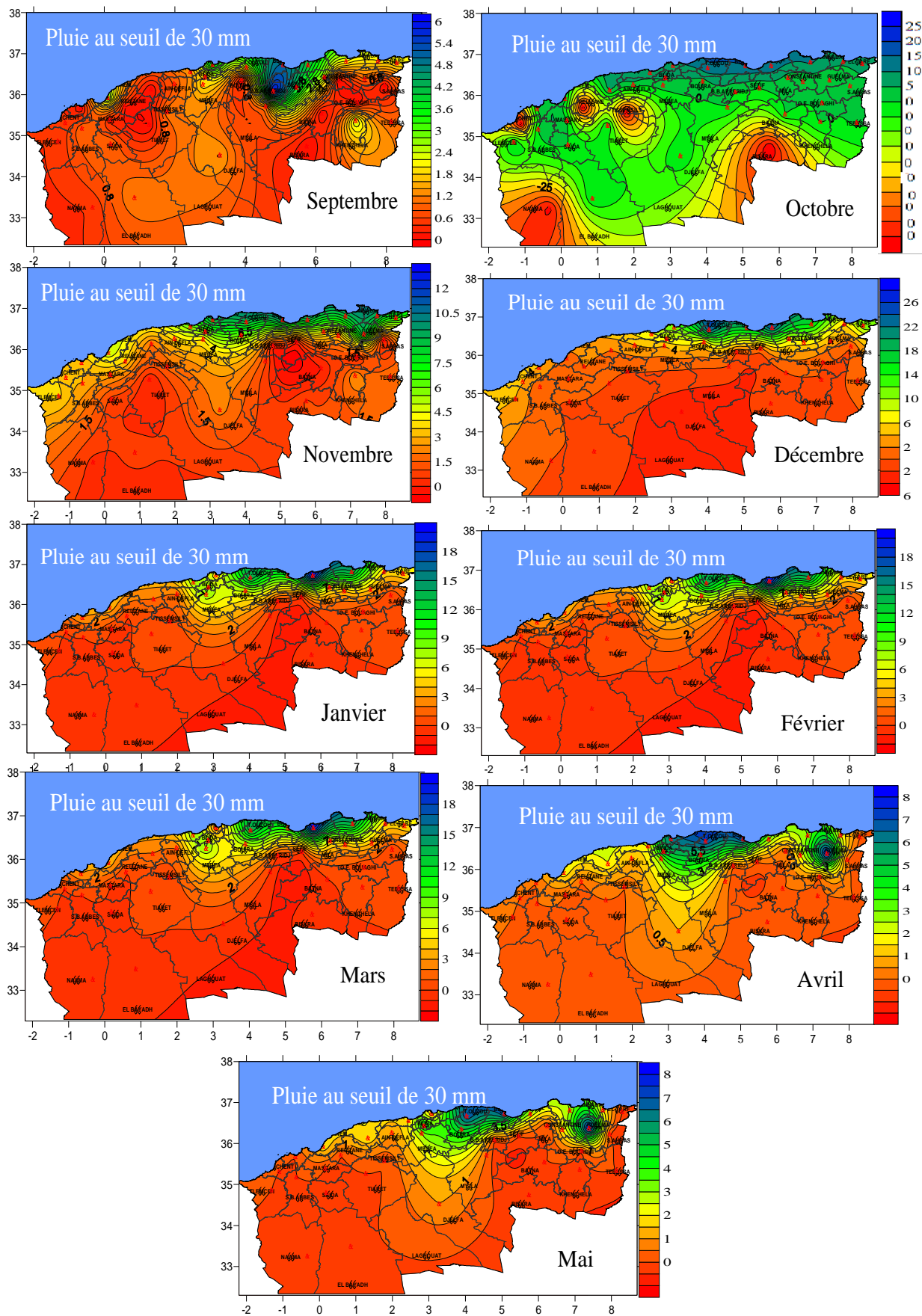


Figure 35 (d). Cartes d'évolution des pluies mensuelles supérieures à 30 mm.

2.2. Nombre de jours pluvieux et secs

2.2.1. Description statistique

La répartition des pluies mensuelles, est en relation étroite avec le nombre de jours de pluies, sur la période (1936-2007), telle que relevée par la figure 36.

2.2.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

L'évolution du nombre de jp au seuil de $P_{\geq 0,1\text{mm}}$ de S à Ju ne permet pas de conclure à l'existence d'une période de sécheresse « semi hivernale »; même si des js sont enregistrés à l'échelle, de l'aire d'étude.

Dans la RE par exemple, région à caractère très humide à très sec, pendant les mois de D, J, F et M, les js atteignent entre 20 et 21 jours/mois.

Dans la RO, à caractère plus sec, les js accèdent à 22 et 24 jours/mois.

Les jours pluvieux se produisent à des périodes variables et n'apparaissent pas davantage, sur les courbes de variations mensuelles tracées à partir des hauteurs moyennes de chaque jour de l'année.

2.2.1.2. Seuil supérieur à 5 mm

La répartition montre que la diminution du nombre de jp, se fait en combinaison à l'augmentation des seuils pluviométriques. Les js deviennent de plus en plus dominants le long du cycle agricole. Les mois de D, J, F les plus arrosées de l'année agricole, enregistrent seulement 5 à 7 j de $P_{\geq 5\text{mm}}$.

2.2.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

Au seuil de $P_{\geq 10\text{mm}}$, les jours pluvieux ne dépassent pas 3 et 4 j. Ils deviennent négligeables aux seuils de $P_{\geq 20\text{mm}}$ et de $P_{\geq 30\text{mm}}$.

La répartition du nombre de jp et de js, est peu variable d'une wilaya humide, cas d'Alger (18 à 21 js, $P_{\geq 0,1\text{mm}}$) à une wilaya continentale sèche, cas de Sétif (19 à 22 js).

De l'Est à l'Ouest, la répartition mensuelle des jp et des js, est proche de celle de la moyenne du NA. Mais elle est très aléatoire et limitée en comparaison à la durée du cycle de la céréaliculture pluviale, qui évolue selon Pionnier (1937) entre 122 et 260 j, annuellement. Ce cycle est en relation avec les indices pluviométriques de sécheresses, les probabilités d'occurrences des pluies et les besoins en eau de la céréaliculture.

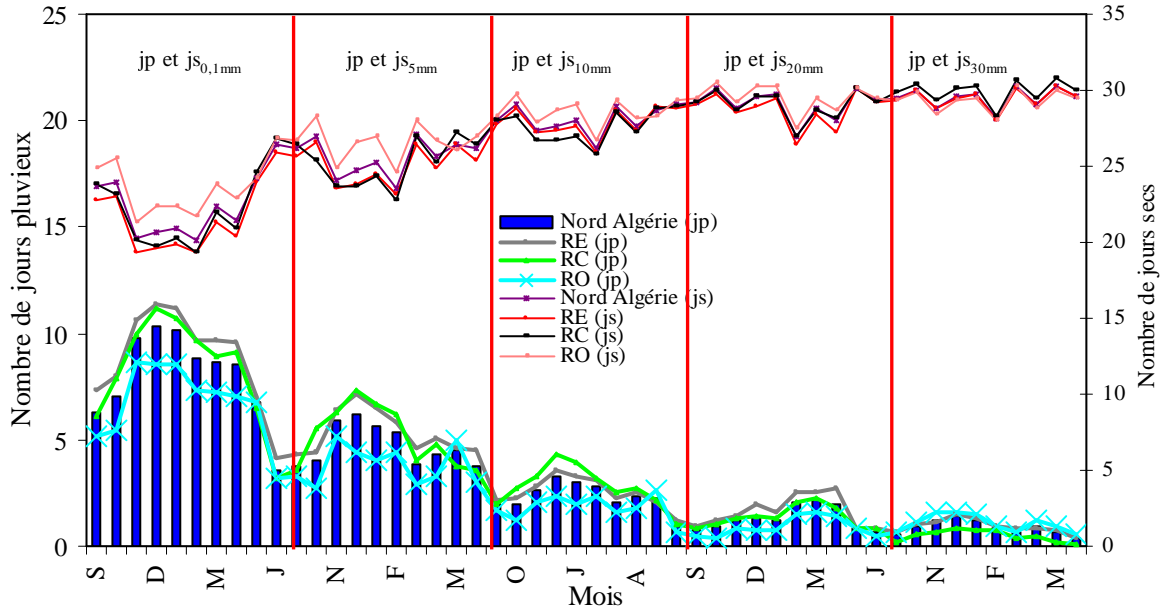


Figure 36. Nombre de jours pluvieux et secs de septembre à mai, à différents seuils pluviométriques.

2.2.2. Description cartographique : Régionalisation

2.2.2.1. Seuils supérieurs à 0,1 et 5 mm

L'évolution du nombre de jp aux seuils de $P_{\geq 0,1\text{mm}}$ et de $P_{\geq 5\text{mm}}$ dans les wilayas littorales, sub-littorales et continentales, est montrée par la figure 37. A ces seuils et au cours des trois premiers mois de l'année, N caractérise le nombre de jp (11 j) le plus important. En D, ce chiffre est le plus élevé (14 j), suivi de J (12 j) puis de F (10 j). Enfin, en M, A et Ma le nombre de jp ne dépasse pas 10 à 7 j, d'une région à l'autre.

2.2.2.2. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30

Aux seuils de $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$, ces chiffres évoluent entre 11% et 2% de S à N, ils sont compris entre 15% et 2% en D, J et F et n'excèdent pas 13% et 1% en M, A et Ma. Ces résultats font ressortir que le nombre de jp est relativement plus homogène dans les wilayas continentales sèches à très sèches, que dans les wilayas littorales et sub-littorales, relativement humides. Les caractéristiques de distribution de jp moyens au pas de temps mensuel, restent très aléatoires en relation avec les indices de sécheresses, les besoins en eau et les dates de semis précoces ou tardives de la céréaliculture.

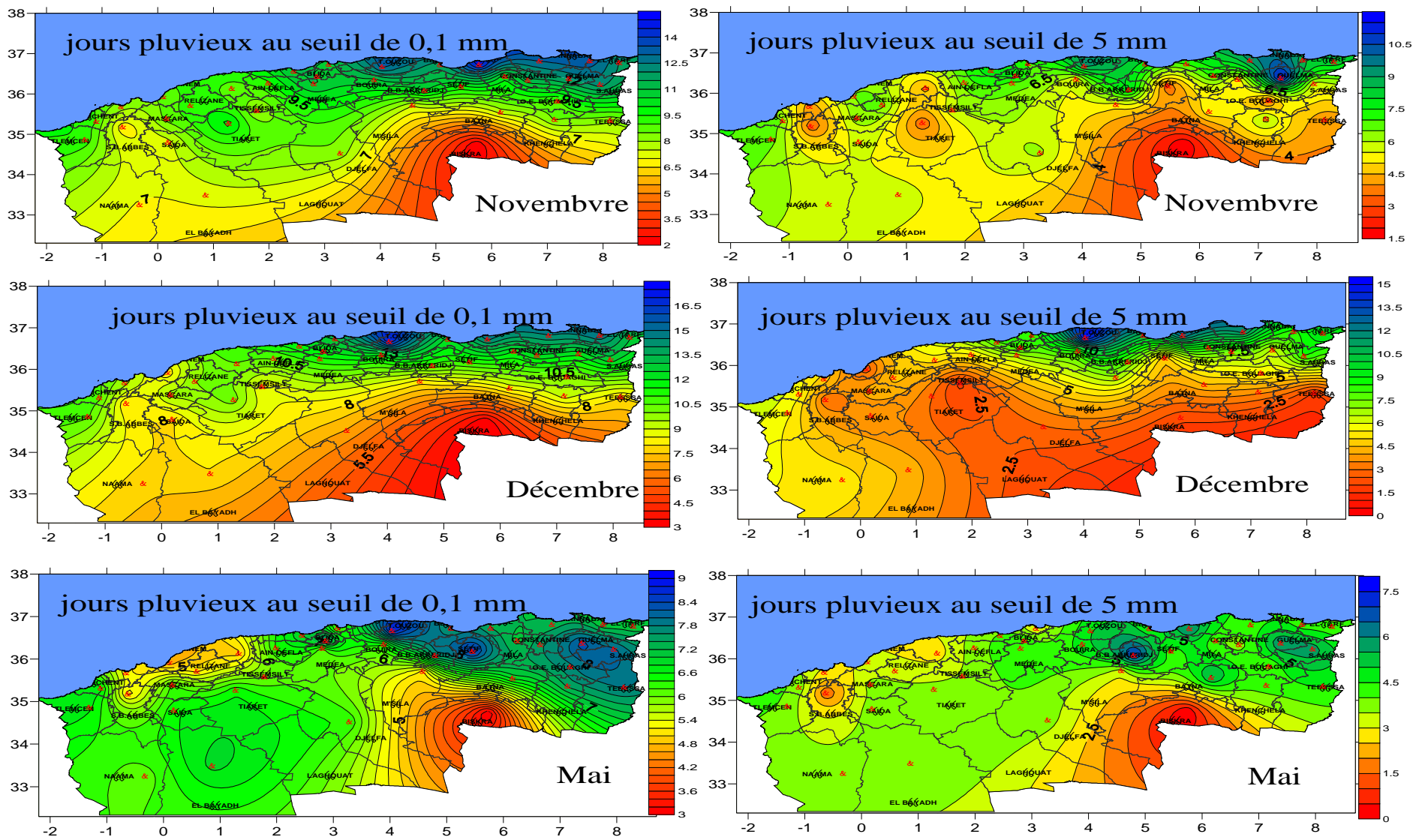


Figure 37. Cartes de régionalisation du nombre de jours pluvieux moyens (pluies supérieures à 0,1 et 5 mm). Mois de novembre, décembre et mai.

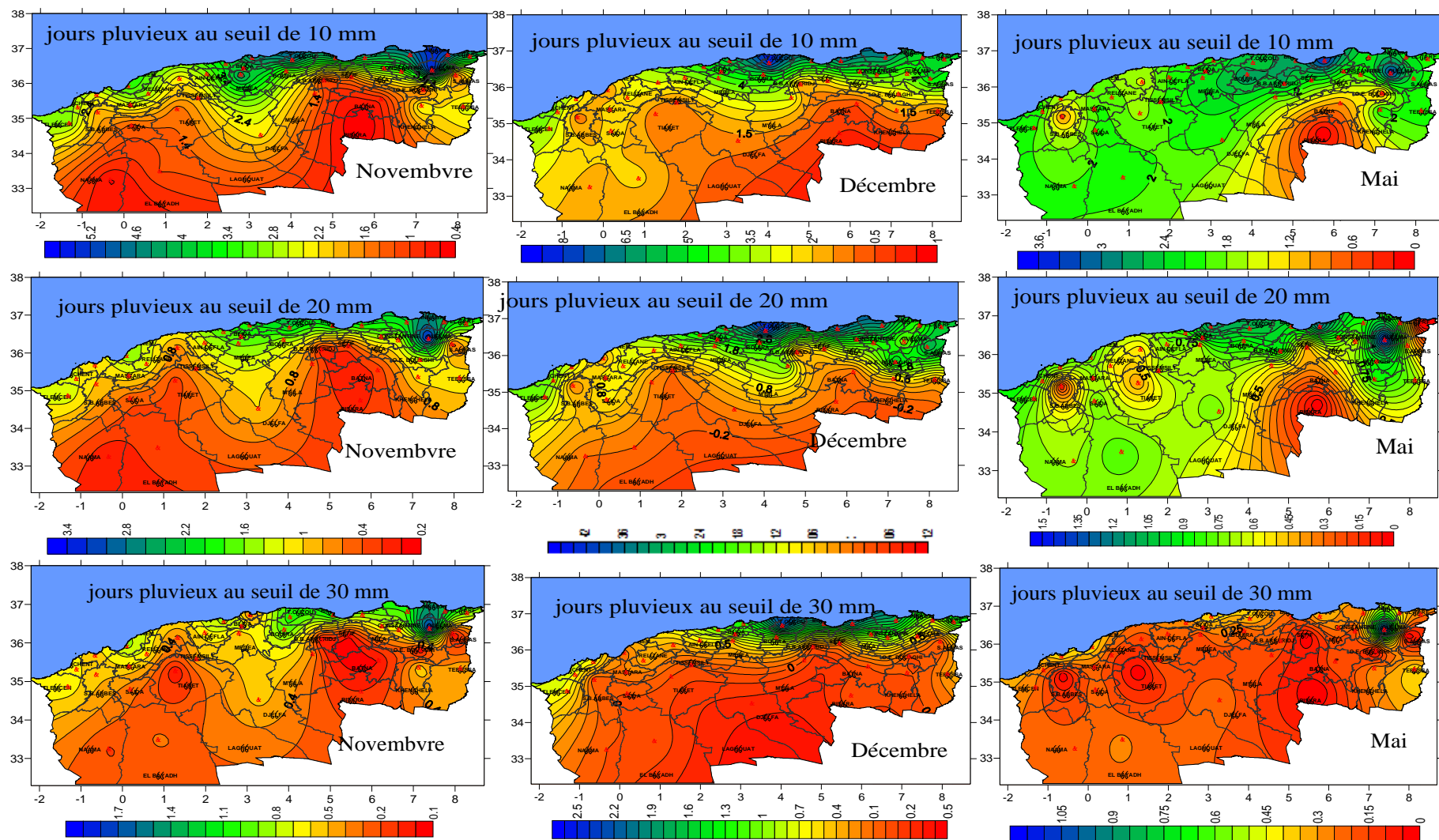


Figure 37a. Cartes de régionalisation du nombre de jours pluvieux moyens aux seuils de pluies supérieurs à 10, 20 et 30 mm. Cas des mois de novembre, décembre et mai.

2.3. Indices de sécheresses

2.3.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

A ce seuil de $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, l'indice de Nicholson (1988) montre les caractéristiques des pluies mensuelles relativement humides où les écarts sont supérieurs à la moyenne, soit +10%, ceux où l'écarts sont proches de la moyenne et ceux relativement secs où les écarts sont inférieurs de -10% (figure 38). Ces écarts confirment les grandes tendances des P_M d'un mois à l'autre, dans la RE, la RC et la RO en comparaison à la moyenne (NA).

Ces résultats décrivent davantage les régions où évolue la céréaliculture pluviale, mensuellement.

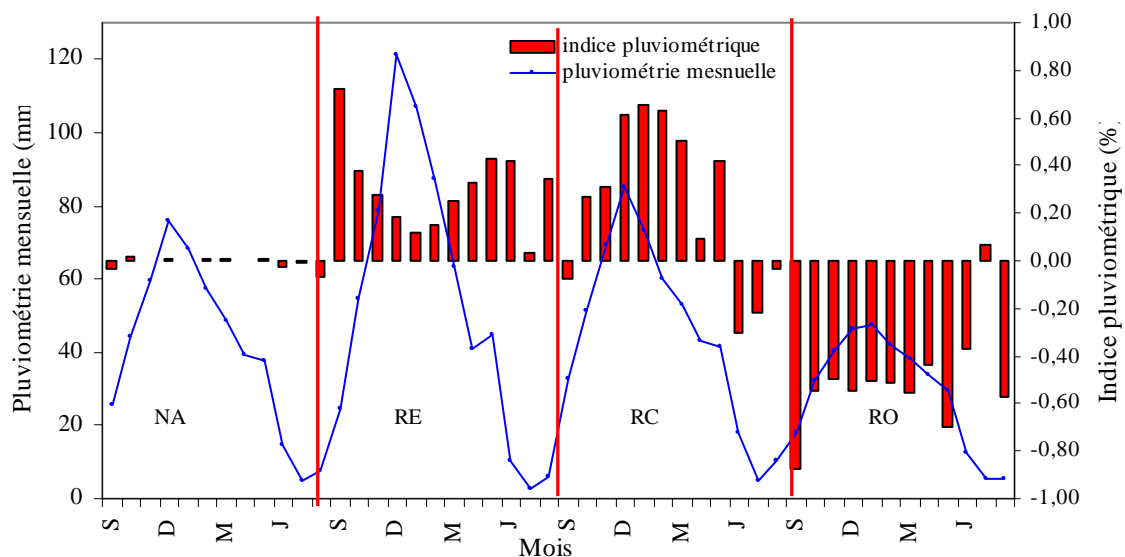


Figure 38. Indice pluviométrique régional au seuil supérieur à 0,1 mm, à l'échelle du NA.

2.3.2. Seuil supérieur à 5 mm

A ce seuil, la figure 39 montre les écarts pluviométriques produits de S à Ju, en référence à la $P_{\geq 0,1\text{mm}}$. S enregistre l'écart le plus faible, -33% et M le plus élevé (-54%), soit un E_t moyen mensuel estimée à -43%.

2.3.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

Au seuil de $P_{\geq 10\text{mm}}$ et selon le même graphique, ces pourcentages atteignent -50% en S et -77% en A, soit un E_t moyen qui avoisine -69%. Ces pourcentages s'avèrent les plus importants aux seuils de $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$. A ces seuils, les écarts pluviométriques moyens dépassent -87% et -96%. Ces chiffres indiquent une mauvaise répartition des pluies

significatives, accompagnée de fortes contraintes hydriques en relation avec leurs probabilités d'occurrences et les besoins en eau mensuels des céréales.

A l'échelle régionale, les écarts pluviométriques sont les plus importants dans la RO suivie par la RC et la RE.

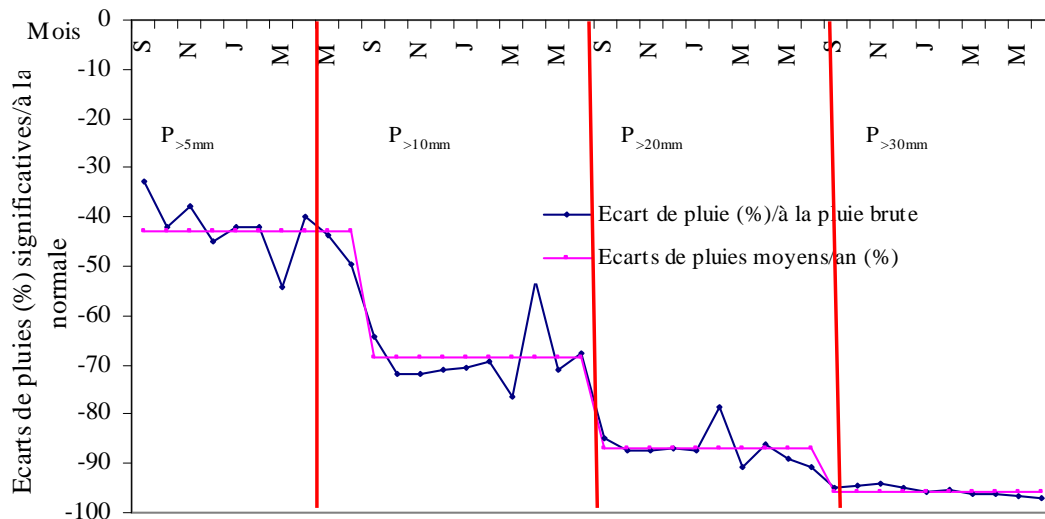


Figure 39. Ecarts de pluies (%) aux seuils de 5, 10, 20 et 30 mm en référence aux pluies (0,1 mm) moyennes régionales.

2.4. Probabilité d'occurrence des pluies

La tendance de probabilités d'occurrences des pluies de S à Ju, est montrée par la figure 40. En effet, le graphique compare les différentes valeurs seuils à l'intérieur de chaque mois aux pourcentages de 20%, 30%, 50% et 80%.

2.4.1. Seuil supérieur à 5 mm

A ce seuil et au pourcentage de 20%, la probabilité de recevoir des $P_{\geq 5\text{mm}}$ en O où à lieu souvent le semis, est de +46% et en N qui coïncide avec la germination, elle est de +44%. Ces chiffres augmentent au fur et à mesure que les pourcentages de probabilités, sont élevés.

Au pourcentage de 50%, ils évoluent entre +79% et +74% ; au pourcentage de 80%, ils atteignent le maximum (>80%).

En M, A et Ma, les probabilités moyennes des pluies en relation avec la formation et la maturation des grains céréaliers, ne dépassent pas +45%, +44% et +66%, au pourcentage de 20%. Ces chiffres sont dépassés (+75%) aux pourcentages de 50% et de 80%, à l'échelle du NA.

2.4.2. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

L'augmentation du seuil pluviométrique entraîne un accroissement des probabilités de pluies mensuelles notamment, aux deux derniers seuils. Quoique, cet accroissement cache la répartition des pluies totalisées, en majorité aux pourcentages de 80% déterminant une sécheresse agricole le long du cycle céréalière. Cette sécheresse affecte les besoins en eau des céréales qui nécessite selon Sivakumar *et al.* (1993) des pluies de 30 mm et plus particulièrement, durant la phase printanière.

A l'échelle régionale, ce régime marque des probabilités de P_M plus importantes dans la RO que dans la RE suivie par la RC aux pourcentages séparés de 20%, 30%, 50% et 80%. A titre d'exemple, la probabilité d'avoir des $P_{\geq 5mm}$ en O au pourcentage de 20%, atteint +55% dans la RO, elle ne dépasse pas +45% et +32% dans la RE et la RC. Au mois de M, ces pourcentages sont équivalents à +56% (RO), +41% (RE) et +41% (RC).

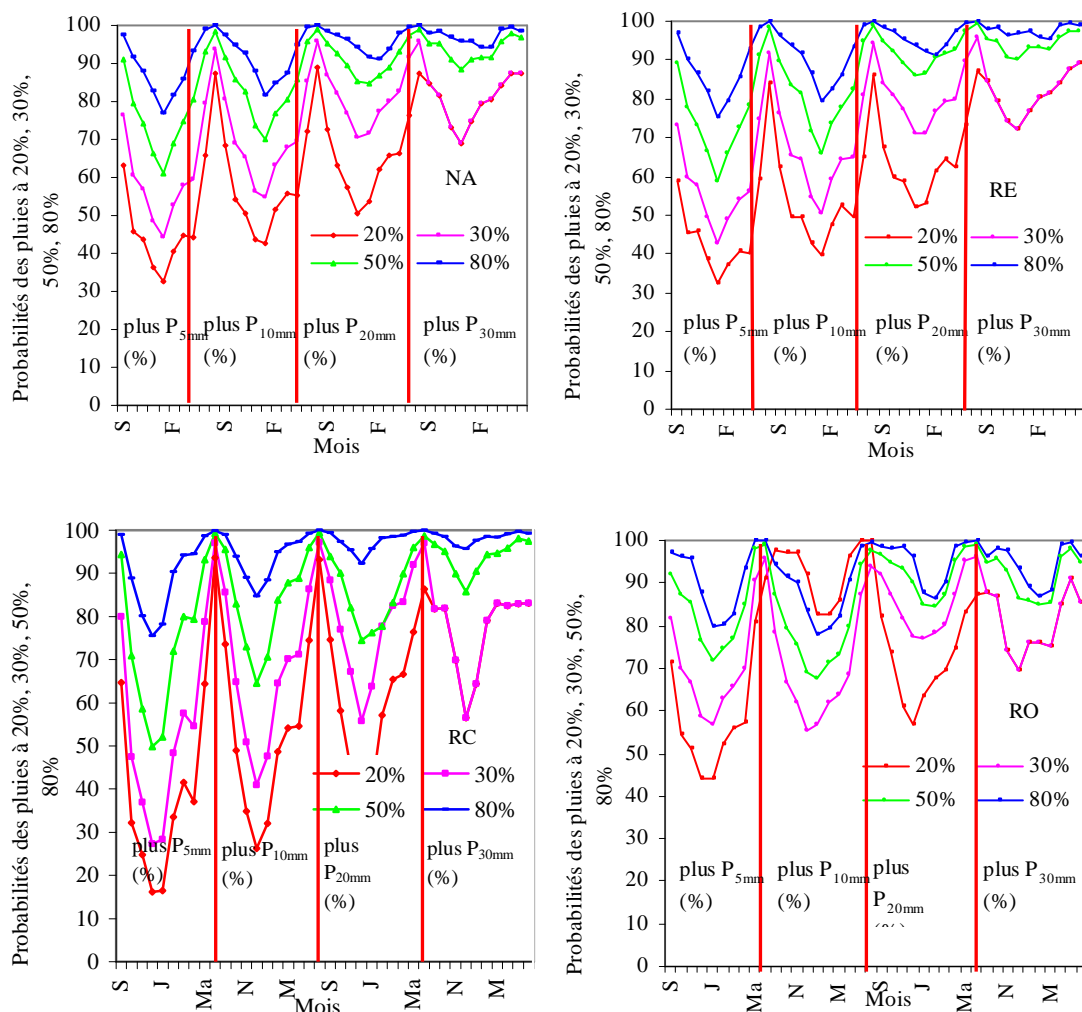


Figure 40. Probabilités des pluies mensuelles supérieures à 5 mm aux pourcentages de 20%, 30%, 50% et 80% à l'échelle de l'aire d'étude, période (1936-2007).

Conclusion

Le Nord de l'Algérie, se caractérise par des quantités de pluies mensuelles faibles en relation avec l'augmentation du seuil pluviométrique de 0,1 mm à 30 mm. Leurs probabilités d'occurrences et le nombre de jours pluvieux limités dans le temps et dans l'espace, inscrivent progressivement des mois secs. Ces sécheresses conditionnent la période de semis, de germination, de tallage, de la fructification et de la maturation des grains céréaliers. Ces caractéristiques expliqueraient partiellement, la production et le rendement très faibles des céréales. Elles préceptes par conséquent, les limites des emblavures en relation avec les besoins en eau.

3. Pluviométrie décadaire

La caractérisation des pluies décadaires, est distinguée à travers les quantités pluviométriques reçues, leurs probabilités d'occurrences et le nombre de jours pluvieux et secs.

3.1. Quantité pluviométrique

La tendance des pluies décadaires moyennes aux différents seuils, repère les décades ou séquences humides et sèches de S à Ju (figure 41).

3.1.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

A ce seuil, la date de début des pluies se manifeste dès la décade 1 du mois, du 5 au 15 S. La moyenne de 9 mm croît régulièrement d'une décade à l'autre, pour atteindre durant la décade 8, du 14 au 24 N la valeur maximum de 23 mm, à l'échelle du NA. Les décades 9 à 14 du mois de D à J les plus arrosées de l'année agricole, reçoivent entre 20-26 mm. A partir de la décade 15 (du 2 au 12 F), la pluie diminue rapidement enregistrant les valeurs les plus faibles durant la décade 19 du mois de M (du 13 au 23). Les pluies qui redémarrent durant la dernière décade de M, atteignent leurs pics à la décade 23 (22-01 A) du mois d'A, puis elles diminuent au fur et à mesure précisant à la décade 27 (22-31 Ma) la fin des P_D printanières (13 mm).

A l'échelle régionale, les P_D les plus élevées, caractérisent la RE suivie par celles de la RC, puis de celles de la RO.

3.1.2. Seuil supérieur à 5 mm

L'évolution des P_D au seuil de 5 mm suit celle des $P_{\geq 0,1\text{mm}}$. A ce seuil, la date d'installation des pluies est décalée à la décade 2 du mois de S (15-25 S). La P_D de 5 mm seulement, caractérise le seuil limite significatif. Les décades les plus arrosées de la saison automnale,

sont alors les décades 7, 8, 9 du mois de N. Leurs lames d’eaux évoluent entre 10 et 13 mm, soit le double de la pluviométrie significative. Encore une fois, les décades (10, 11, 12) du mois de D et les décades (13, 14, 15) du mois de J sont les plus arrosées, avec des quantités qui frôlent les 14 mm. Elles diminuent brusquement durant la décade 16 du mois de F (23J-2F) et durant les décades (19, 20 et 21) du mois de M. Elles s’accroissent ensuite légèrement durant les trois décades du mois d’A. Une fois encore, la décade 27 (22-31 Ma) avec 7 mm signale la fin des P_D significatives.

3.1.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

La répartition des pluies moyennes enregistrées par décade le long du cycle agricole aux différents seuils, sont pour la plupart inférieures ou proches des moyennes caractéristiques du NA. Aussi, l’installation des P_D moyennes s’avère de plus en plus tardive, avec l’augmentation du seuil pluviométrique. Cette installation caractérise des pluies qui débutent à la décade 9 (24N-4D) du mois de D, dans la RE et celles qui commencent à la décade 10 (4-14D) du mois de N, dans la RC.

Dans la RO, quelques soit le seuil, les pluies décadaires de S à Ju, sont inférieures aux moyennes (NA).

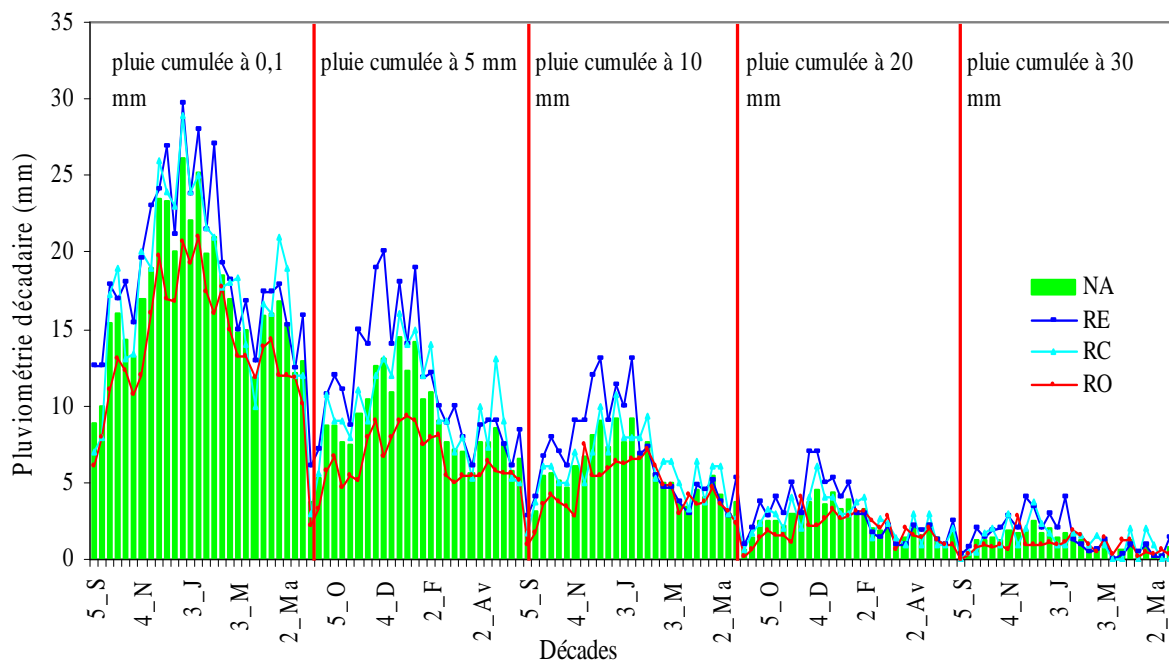


Figure 41. Tendance des pluies décadaires moyennes aux différents seuils pluviométriques.

3.2. Nombre de jours pluvieux

La figure 42 confirme que la répartition spatio-temporelle des quantités précipitées aux seuils de $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$, est étroitement liée à l'évolution du nombre de jp décadaire. En effet, les séries pluviométriques historiques (71 ans) situent les décades les plus pluvieuses de l'année, d'une région à l'autre en référence à la moyenne (NA). Les courbes de répartition montrent une concentration du nombre de jp durant les décades hivernales de D à F, quelque soit le seuil considéré.

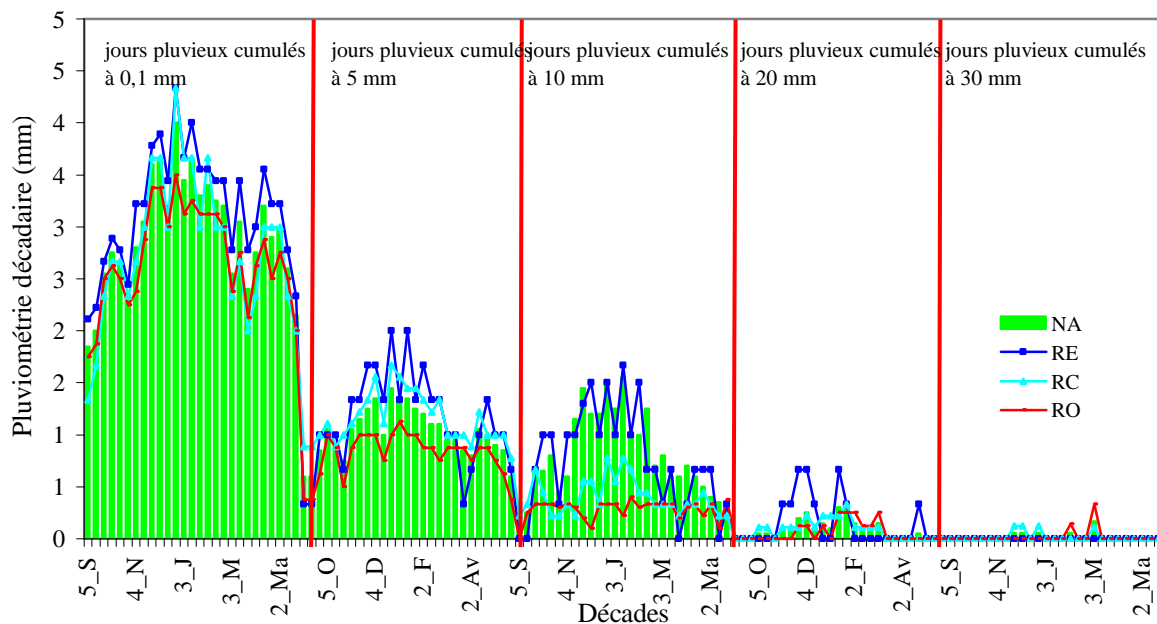


Figure 42. Tendence du nombre de jours pluvieux aux seuils respectifs de 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm dans la RE, la RC et la RO en référence à la moyenne globale.

3.2.1. Seuil supérieur à 0,1 mm

A ce seuil, les décades de S, O et N relativement arrosées et celles de M, A et Ma relativement sèches, enregistre chacune en moyenne 2 à 3 jp. Ces chiffres atteignent 3 à 4 j par décade hivernale. Les js deviennent alors dominants.

3.2.2. Seuil supérieur à 5 mm

Les décades de S, O et N et celles de M, A et Ma transcrivent au maximum, 2 jp. Le nombre de jp durant les décades hivernales, ne dépasse pas par ailleurs, 1 à 2 j.

3.2.3. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

A ces seuils, le nombre de jp devient négligeable. Plus le seuil pluviométrique augmente, plus le nombre de jp par décade, diminue. Les js deviennent alors, de plus en plus dominants le long des décades de l'année. De manière générale, la répartition des quantités de pluies et le nombre de jp reçus par décade, d'une région à l'autre du NA, ne semblent pas en adéquation avec les besoins en eau qui permettent l'élaboration du rendement, de la phase automnale à la phase printanière.

3.3. Probabilité d'occurrence des pluies

La tendance des P_D de S à Ju, propose en effet une variabilité pluviométrique mais, elle tend à dissimuler, leurs probabilités d'existences qui contribuent à envisager la satisfaction des besoins en eau de la céréaliculture et même sa planification. A titre illustratif, la figure 43 récapitule les probabilités pluviométriques obtenues par wilaya céréalière, de l'Est à l'Ouest du NA. Les courbes comparent les différentes valeurs seuils à l'intérieur de chaque décade aux pourcentages de 20%, 30%, 50% et 80%.

3.3.1. Seuil supérieur à 5 mm

Au cours des décades de S qui correspondent à la préparation des sols et au pourcentage de 20%, les probabilités de recevoir des $P_{\geq 5\text{mm}}$ sont comprises entre +65% (décade 1) et +49% (décade 3). Durant les décades du mois d'O où a lieu souvent le semis, les probabilités d'occurrences de ces pluies, fluctuent entre +46% (décade 4) et +44% (décade 6). Aux décades du mois de N qui coïncide avec la germination, ces probabilités ne dépassent pas +44% (décade 7) et +41% (décade 9). Ces chiffres augmentent au fur et à mesure que les pourcentages de probabilités, sont élevés. Ils sont compris entre +93% (décade 1) et +71% (décade 9) au pourcentage de 50%, ils atteignent le maximum (>86%) au pourcentage de 80%.

Aux décades des mois de M, A et Ma où a lieu la formation et la maturation des grains céréaliers et au pourcentage de 20%, les probabilités d'occurrences moyennes des P_D , fluctuent entre +49% et +76%. Aux pourcentages de 50% et de 80%, ces probabilités dépassent 90% à partir de M.

3.3.2. Seuils supérieurs à 10, 20 et 30 mm

L'augmentation du seuil pluviométrique ($P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$) entraîne un accroissement des probabilités des P_D notamment, aux deux derniers seuils. Encore une fois, cet

accroissement cache la répartition des P_D , obtenues en majorité aux pourcentages de 80%. Ces résultats confirment que la probabilité d'une bonne répartition des pluies significatives, est faible durant toutes les décades de S à Ju. Des sécheresses sévères, caractérisent l'ensemble des décades de l'année agricole, traduisant de très fortes contraintes hydriques affectant les besoins en eau des céréales.

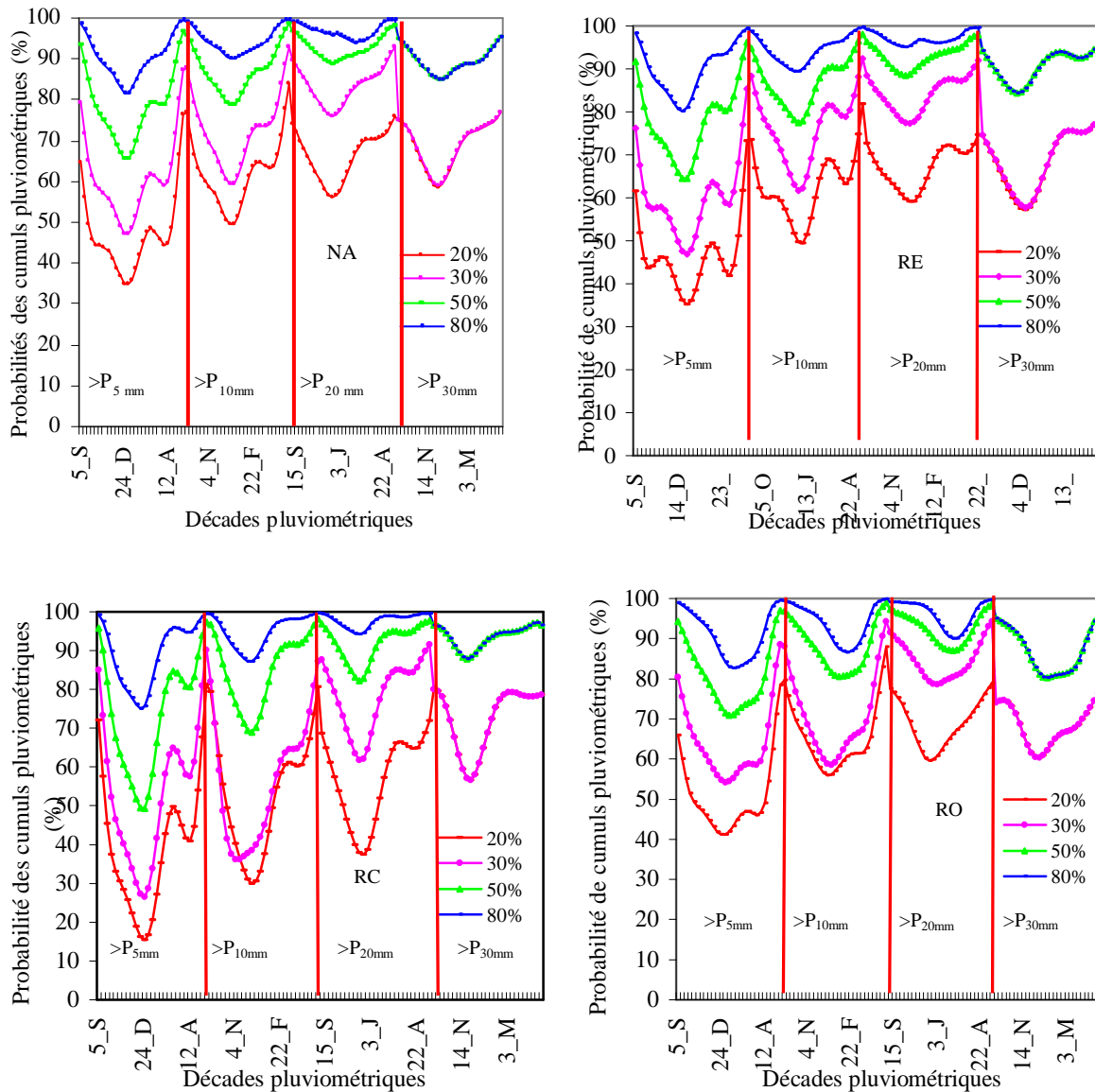


Figure 43. Probabilités d'occurrences des pluies décadaires supérieures à 5, 10, 20 et 30 mm dans la RE, la RC et la RO, en comparaison à la moyenne.

3.4. Probabilité de séquences sèches

Aux seuils de $P_{\geq 5\text{mm}}$, les probabilités de sécheresses de S à Ju à l'échelle régionale et territoriale, sont confirmées par les moyennes calculées sur 5, 10, 15 et 20 j au cours des 30 j suivant le premier jour de chaque décade.

Selon la figure 44, jusqu'au début de la décade de D, les probabilités d'avoir des sécheresses dépassant 5, 10 et 15 jours au cours des 30 j, s'élèvent à plus de 80% et plus de 60% quelque soit le seuil pluviométrique. Ces probabilités sont très élevées, en dépit que les sécheresses soient interrompues par des pluies. D'après ces données, semer durant ces décades, demeure assez risqué. Mais, la période suivante (D, J, F) s'avère aussi défavorable même si les probabilités d'avoir des séquences de sécheresses, diminuent.

A partir des décades de M où la fructification s'effectue, les probabilités de séquences sèches maximales dépassant 10 j, s'élèvent à plus de 92%.

Ces résultats corroborent ceux obtenus précédemment, confirmant les risques de manques d'eau en relation avec les phases d'élaboration du rendement, quelque soit la date de semis.

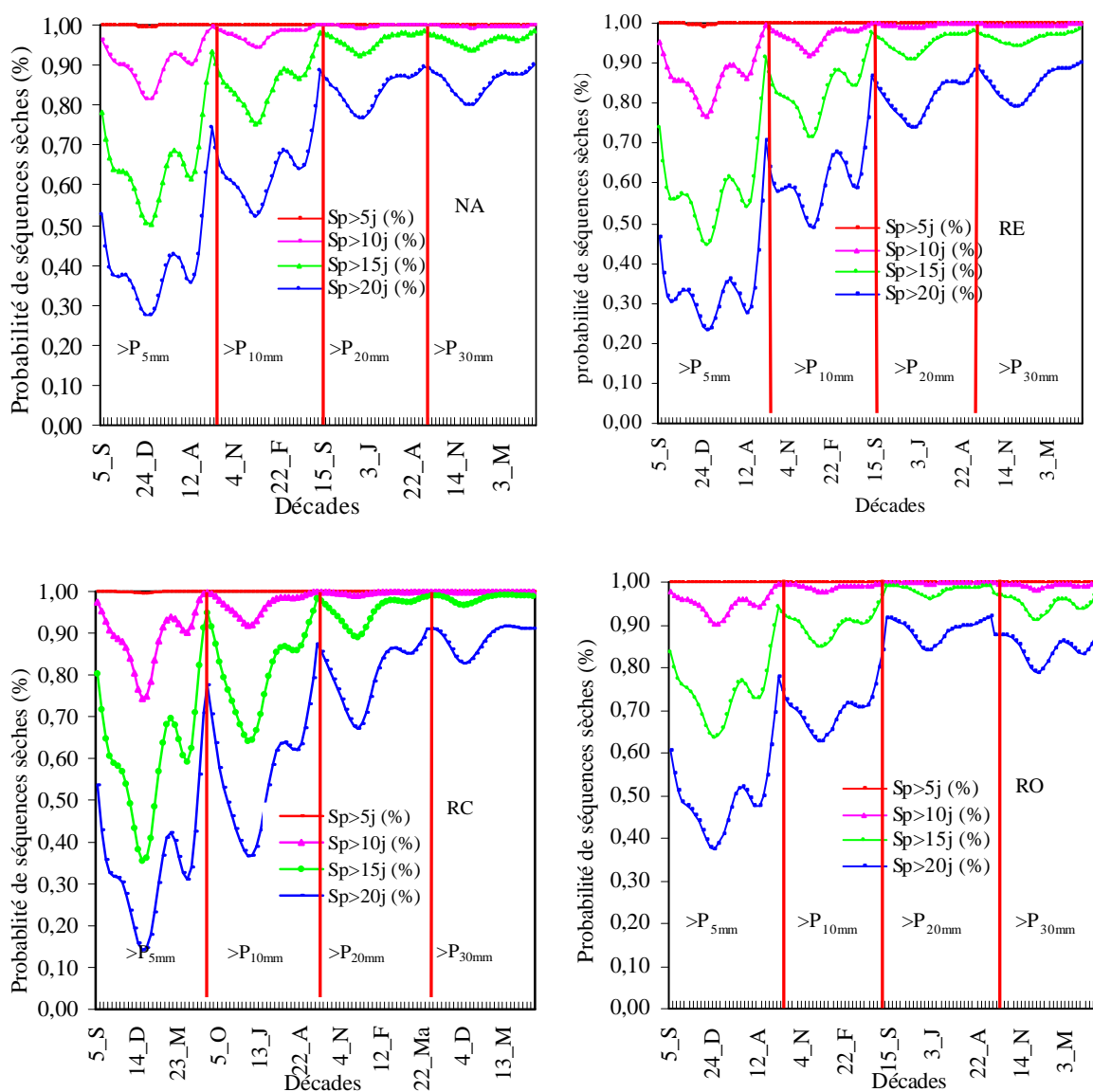


Figure 44. Probabilités de séquences sèches aux seuils supérieurs de 5, 10, 20 et 30 mm à l'échelle régionale.

3.5. Date de semis

Le modèle de simulation des pluies décadaires moyennes qui prend en compte les probabilités d'occurrences et les probabilités de séquences sèches, a permis de résumer les dates de semis possibles des céréales pluviales, au cours de l'année agricole. Le tableau 7 résume les dates de semis éventuels, dans certaines wilayas céréalières de la RE, la RC et la RO. Ces dates reflètent un semis précoce, intermédiaire et tardif.

L'application du test de Student aux dates de semis proposées, au seuil significatif de 0,05, montre qu'il n'existe pas de différence entre les dates présentées par le modèle en référence aux dates d'entrées. Autrement dit, quelque soit la date de semis considérée, aucun événement pluviométrique (occurrence de pluie) particulier n'agirait indistinctement sur la période de la floraison céréalière.

Tableau 7. Dates de semis des céréales pluviales proposées par le modèle en référence aux dates fixées en entrée.

Wilayas	D.E	Dates de références								
		5 O	15 O	25 O	4 N	14 N	24 N	4 D	14 D	24 D
Alger	Mx	25 M	25 M	25 M	07 A	07 A	12 A	12 A	12 A	12 A
Alger	M	22 N	24 N	28 N	6 D	12 D	20 D	29 D	08 J	31 D
Alger	SD	11 O	11 O	08 O	11 O	09 O	16 O	16 O	13 O	28 O
Bouira	Mx	24 A	24 A	24 A	24 A	24 A	24 A	24 A	24 A	24 A
Bouira	M	30 D	24 D	30 D	31 D	01 J	04 J	25 J	27 J	29 J
Bouira	SD	06 N	12 N	06 N	06 N	02 N	26 O	23 O	29 O	29 O
Annaba	Mx	25 F	25 F	28 M	28 M	30 M	30 M	30 M	30 M	2 A
Annaba	M	16 N	18 N	23 N	1 D	8 D	13 D	16 D	24 D	11 J
Annaba	SD	02 O	32 O	06 O	03 O	07 O	08 O	11 O	15 O	06 N
Guelma	Mx	14 F	14 F	14 F	14 F	14 F	14 F	14 F	14 F	14 F
Guelma	M	2 D	2 D	6 D	6 D	7 D	13 D	17 D	29 D	02 J
Guelma	SD	14 O	14 O	13 O	13 O	13 O	13 O	13 O	17 O	22 O
Sétif	Mx	12 J	12 J	12 J	12 J	12 J	12 J	12 J	12 J	12 J
Setif	M	03 N	03 N	03 N	05 N	06 N	06 N	06 N	06 N	06 N
Setif	SD	06 N	06 N	06 N	06 N	4 D	4 D	4 D	4 D	4 D
Batna	Mx	27 Ao	27 Ao	27 Ao	27 Ao	27 Ao	27 Ao	27 Ao	27 Ao	27 Ao
Batna	M	25 D	14 J	14 J	28 J	18 F	18 F	18 F	29 D	18 F
Batna	SD	05 J	05 J	05 J	14 J	26 J	26 J	26 J	31 D	26 J
Souk Ahras	Mx	29 J	29 J	09 A	09 A	09 A	09 A	09 A	09 A	09 A
Souk Ahras	M	3 D	4 D	21 D	21 D	24 D	01 J	05 J	16 J	09 J
Souk Ahras	SD	06 O	06 O	20 O	20 O	17 O	13 O	09 O	06 O	28 O
Mostaganem	Mx	23 N	23 N	23 N	28 N	28 N	28 N	30 J	30 J	30 J
Mostaganem	M	24 O	16 O	18 O	23 O	25 O	04 N	21 O	21 O	15 N
Mostaganem	SD	30 S	04 S	05 O	12 O	13 O	13 O	27 N	27 N	16 D
Tiaret	Mx	31 J	31 J	31 J	31 J	31 J	31 J	20 M	20 M	20 M
Tiaret	M	13 N	25 N	26 N	27 N	2 D	20 N	25 D	25 D	09 J
Tiaret	SD	03 O	28 S	27 S	25 S	23 S	11 O	03 O	14 O	16 O

D.E : dates de semis estimées ; Mx : date maximum ; M : date moyenne ; SD ; déviation standard

Ces résultats méritent d'être confirmés par les informations de terrains en tenant compte des variétés utilisées, de la gestion de l'aléa climatique et surtout des pratiques culturales. Cette combinaison éclairerait davantage les causes de la mauvaise performance céréalière en relation avec la variabilité pluviométrique, au NA.

Conclusion

L'analyse de la pluie décadaire moyenne a déterminé avec plus de précision les risques de la contrainte hydrique à longueur du cycle céréalière. Les risques sont définis en termes de probabilités de pluies et de séquences sèches. La contrainte hydrique est présente à tous les stades de croissance des céréales et affecte à des degrés divers, les rendements. Cette contrainte impose ainsi, une limite à l'extension des terres céréalières pluviales. Elle représente ainsi, une échelle qui s'ajuste aux changements séquentiels des phases de développements, identifiant mieux les composantes les plus limitantes du rendement des céréales pluviale de la RE à la RO.

Cette approche agroclimatique constitue un complément ou même une phase préliminaire aux approches morpho-physiologiques et à celles visant l'amélioration génétique de cultivars les mieux valorisant, du milieu céréalière. L'ensemble contribuerait à l'amélioration de la productivité céréalière et à la réduction de la facture alimentaire des céréales.

II. Température

II. Température

1. Température annuelle

1.1. Echelle temporelle

A l'échelle du NA, la tendance thermique montre une évolution semblable à celle des P_{Am} sur 71 ans (1936-2007) (figure 45). La moyenne générale estimée à $16,8^{\circ}\text{C}$, fluctue entre des valeurs minimums moyennes de $15,7^{\circ}\text{C}$, cas des années 1971/1972 et 1975/1976 et des valeurs maximums moyennes de 18°C , cas des années 1962/1963, 1965/1966 et 2001/2002. Ces maximums se seraient déroulés en deux phases. Les premiers représentent la phase (1950-1973), les seconds caractérisent les années (2000-2007). Elles reflètent respectivement des E_t thermiques de $+0,5\%$ et de $+3\%$, soient des hausses négligeables de $0,03^{\circ}\text{C}$ et de $+0,5^{\circ}\text{C}$. Ces deux phases sont séparées par des épisodes où les tendances moyennes des T_{Am} marquent plutôt des E_t thermiques de $-0,8\%$ (1930-1950) et de $-0,05\%$ (1973-2007). Ces baisses sont dues aux températures enregistrées au cours des années 1942/1943 et 1970 à 1980.

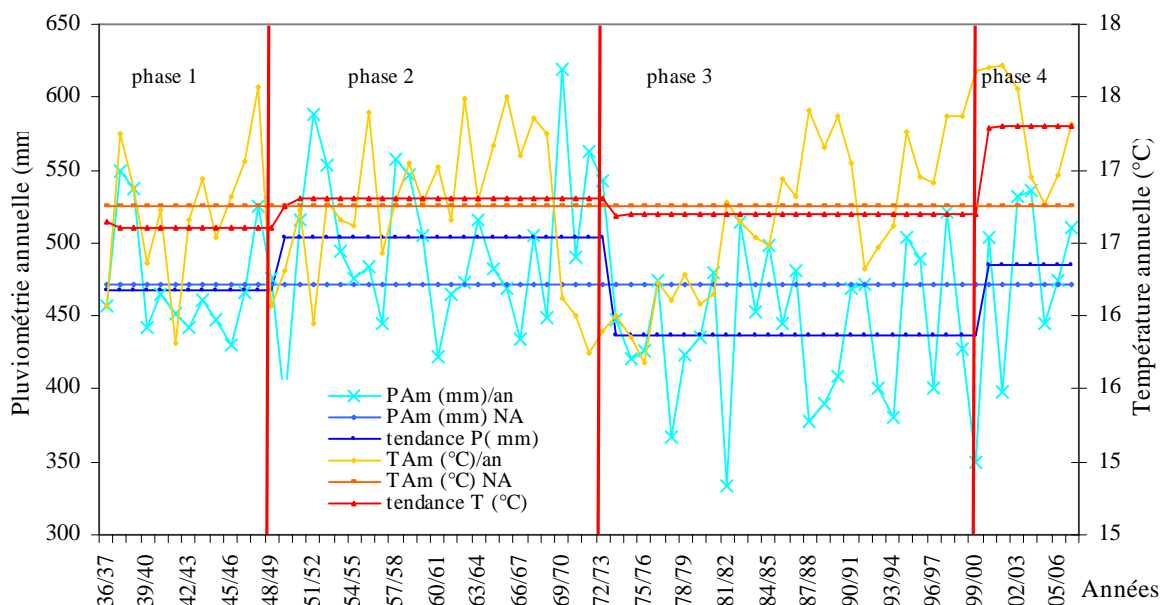


Figure 45. Evolution temporelle des températures annuelles ($^{\circ}\text{C}$) moyennes, minimums et maximums sur la période (1936-2007).

L'élévation de la T_{Am} durant la première phase de la série, reste inférieure à la moyenne mondiale estimée entre $+0,18$ et $+0,6^{\circ}\text{C}$ (Transrural, 2003 et Esslinger, 2009). Elle reste également, inférieure à celle de la région maghrébine, estimée à $+1^{\circ}\text{C}$ durant ce siècle (Tabet-

Aoul, 2008 ; Mosbah, 2009 et Lakhdari et Ayad, 2009). Elle pourrait être expliquée selon ces sources par les seules variations du rayonnement solaire. En revanche, durant la dernière phase, l'élévation produite équivalent à la moyenne mondiale, pourrait être liée à l'augmentation dans l'atmosphère du dioxyde de carbone, du méthane et du protoxyde d'azote, malgré que le pays soit faiblement émetteur des gaz à effets de serre (entre 1,5 et 3,5 TE Co₂/Hab/an).

1.2. Echelle spatiale

Les wilayas céréalières organisées selon le même gradient (Est-Ouest), montrent des T_{Am} qui augmentent d'Est en Ouest (figure 46).

La RE et la RC enregistrent réciproquement une température moyenne de +16°C. Elle fluctue entre des T_{Am} de 14°C, cas des wilayas continentales comme Sétif, Bordj Bou Arreiredj et Djelfa et des T_{Am} de 17 à 18°C, cas des wilayas littorales tels que Skikda, Annaba, Jijel, Bejaia et Alger.

La RO enregistre quant à elle, une T_{Am} équivalente à celle du NA (17°C), variant entre un minimum moyen de 15°C et un maximum moyen de 19°C (Mostaganem et Oran).

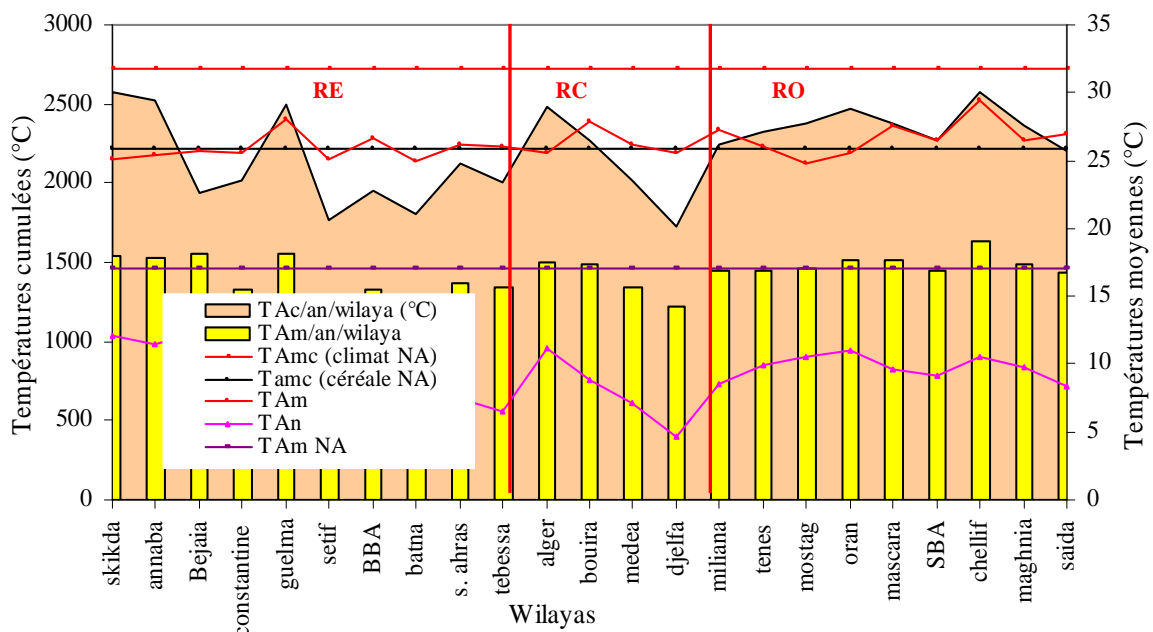


Figure 46. Tendence des températures mensuelles (°C) moyennes, minimums, maximums et cumulées, des wilayas céréalières.

La tendance spatiale moyenne masque ainsi, les T_{An} estimées moyennement à $+11^{\circ}\text{C}$ et les T_{Ax} évaluées à 22°C . Ces températures caractérisent séparément des courbes, qui évoluent dans le même sens avec des R^2 très élevés ($\geq 90\%$). Elles relèvent respectivement des T_{An} de $+5$ à $+6^{\circ}\text{C}$ dans les wilayas plutôt continentales (Sétif, Bordj Bou Arreiredj et El-Bayadh) ; des T_{Ax} qui varient entre $+25$ et $+26^{\circ}\text{C}$ dans les wilayas sub-littorales cas de Guelma, Bouira, Chélif et Mascara. Les températures moyennes plus faibles dans les wilayas continentales, sont dues principalement à l'effet de l'éloignement de la mer mais, surtout de la latitude.

Ainsi, les températures moyennes cumulées à l'échelle régionale de S à Ao, avoisinent $2\,722^{\circ}\text{C}$. En relation avec la période de croissance des céréales (S à Ju), ces températures ne dépassent pas la moyenne de $2\,547^{\circ}\text{C}$, soit $15,7^{\circ}\text{C}$. Ces résultats proches de ceux de Zouaoui et Bensaid (2007) à l'échelle expérimentale, montrent que théoriquement, la majorité des wilayas de la RE ($14,6^{\circ}\text{C}$), de la RC ($15,1^{\circ}\text{C}$) et de la RO ($17,3^{\circ}\text{C}$) présentent les caractéristiques thermiques annuelles de la céréaliculture pluviale.

1.3. Echelle spatio-temporelle

A cette échelle de temps et d'espace, la figure 47 montre les caractéristiques des différentes phases sur 71 ans.

L'écart positif de la phase 1, est dû essentiellement aux T_{Am} plus élevées de la RC et de la RO. Elles montrent en effet, des E_t thermiques de $+5\%$ et de $+2\%$ par rapport à la moyenne.

L'écart négatif de la phase 2, est plutôt lié aux T_{Am} qui ont baissé dans les trois régions relevant des E_t régionaux compris entre -4% à $-0,8\%$ d'Est en Ouest.

L' E_t positif de la phase 3, est dû principalement aux T_{Am} qui ont augmenté dans la RC ($+1\%$) et dans la RO ($+3\%$) par rapport à la moyenne.

Les écarts thermiques spatio-temporels mettent en évidence la dominance des années relativement chaudes et froides, au cours de chaque phase. Les années 1980-2007 dans la RE et 1936-1980 dans la RC, sont relativement chaudes par rapport aux autres années de la série. Dans la RO, la tendance globale est à la hausse durant toutes les phases, de la période suscitée.

L'analyse met en évidence l'évolution thermique, qui varie plus dans les régions humides que dans les régions sèches. Le gradient thermique spatio-temporel Est Ouest est ainsi, confirmé.

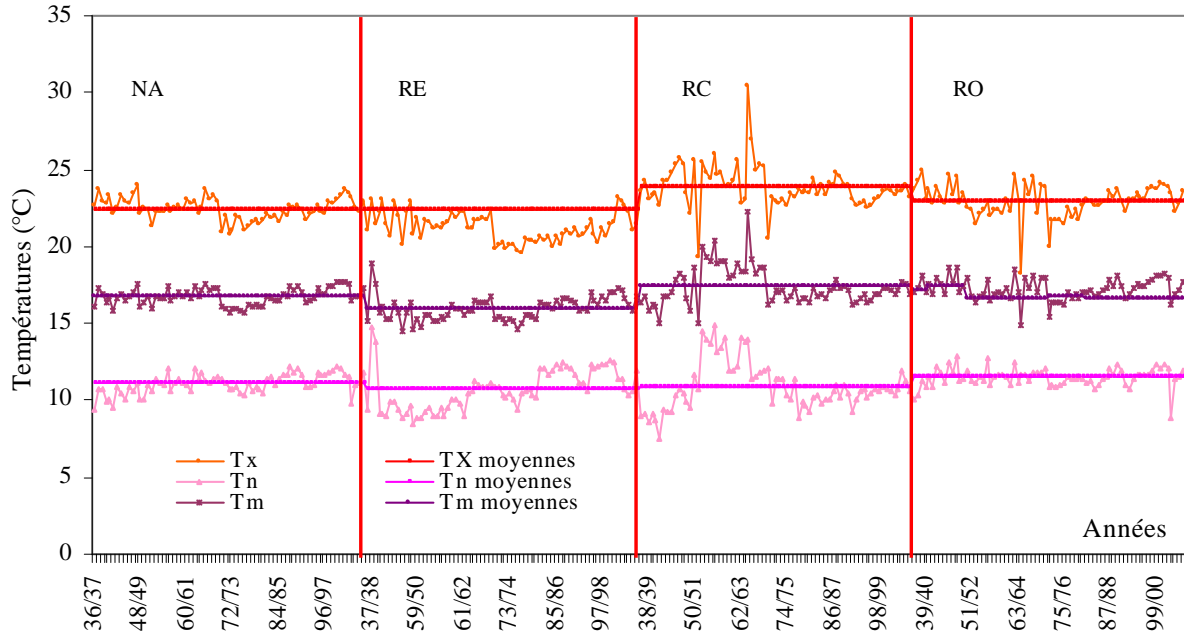


Figure 47. Température spatio-temporelle par phase, sur 71 ans.

2. Température mensuelle

L'évolution des courbes de températures moyennes, minimums et maximums dans la RE, la RC et la RO, indique les niveaux de températures les plus élevés et les plus bas de l'année, par rapport à la moyenne de la série (figure 48). Ces niveaux représentés par des flèches, caractérisent le climat de l'année. Ils sont notamment liés aux variations de la latitude et de l'altitude en considération, aux travaux réalisés sur le même territoire par Seltzer (1949) et Emberger (1955) et dans les régions semi-arides de l'Est algérien (Smadhi, 2002).

- Septembre, octobre, novembre

Les valeurs de T_{Mn} décroissent de 17 à 9°C et celles des T_{Mx} de 29 à 18°C. Elles reflètent respectivement des moyennes saisonnières extrêmes de 13 et 24°C, soit une moyenne climatique de la saison (T_{ms}) de 18°C. Ce chiffre représente un écart thermique moyen de +8% (T_{ms}) en référence à la T_{Mm} climatique. Cet écart est plus important en référence à la T_{Mm} de croissance des céréales.

- Décembre, janvier, février

Les températures moyennes de ces mois, restent les plus basses de l'année.

Les T_{Mn} qui diminuent à +6 et à +5°C et les T_{Mx} qui baissent à +14 et à +18°C, caractérisent des moyennes extrêmes de la saison de +5°C et de +14°C. La moyenne climatique de la saison baisse ainsi, à +10°C, soit un E_t thermique de -41% à l'échelle du NA. Cet E_t atteint -48% dans la RE, -43% dans la RC et -35% dans la RO.

En référence à la moyenne de croissance des céréales, ces chiffres sont moins importants ($-37\% \leq E_t \leq -21\%$).

- Mars, avril, mai

Les températures moyennes caractérisent davantage des valeurs thermiques élevées.

Les T_{Mn} croient respectivement à +7 et +12°C ; tandis que celles des T_{Mx} remontent à +18 et +24°C.

Les moyennes saisonnières extrêmes de +9 et de +21°C propulsent la moyenne de la saison à +15°C (NA).

Les écarts printaniers moins importants que ceux de la saison hivernale, évoluent entre -19% (T_{Mn}) et -9% (T_{Mx}), soit un E_t moyen printanier de -12%. Ce pourcentage masque l'écart maximum de la RE (-17%), suivi de celui de la RC (-14%) et l'écart minimum de la RO (-7%).

En comparaison à la moyenne thermique de croissance, ces écarts sont relativement positifs, ils fluctuent entre +1% (RE), +4% (RC) et +13% (RO).

La variation reflétée par le calcul des écarts minimums et maximums, indique une élévation des T_M plus prononcée durant la saison automnale que celle de la saison printanière.

A titre d'exemple, en automne, les T_{Mn} fluctuent entre les valeurs de +15°C (cas de Jijel) ; 10°C (Constantine) ; 9,3°C (Sétif) et +8,7°C (cas de Batna). Au printemps, ces valeurs varient entre 10,1°C et 5,8°C.

- Juin, juillet, août

Les températures de ces mois, sont les plus élevées de l'année enregistrant une moyenne saisonnière de +25°C, soit un E_t de +49% par rapport à la moyenne générale.

La tendance globale montre une augmentation graduelle des extrêmes thermiques de la RE à la RO relevant, une variation nette des températures moyennes saisonnières.

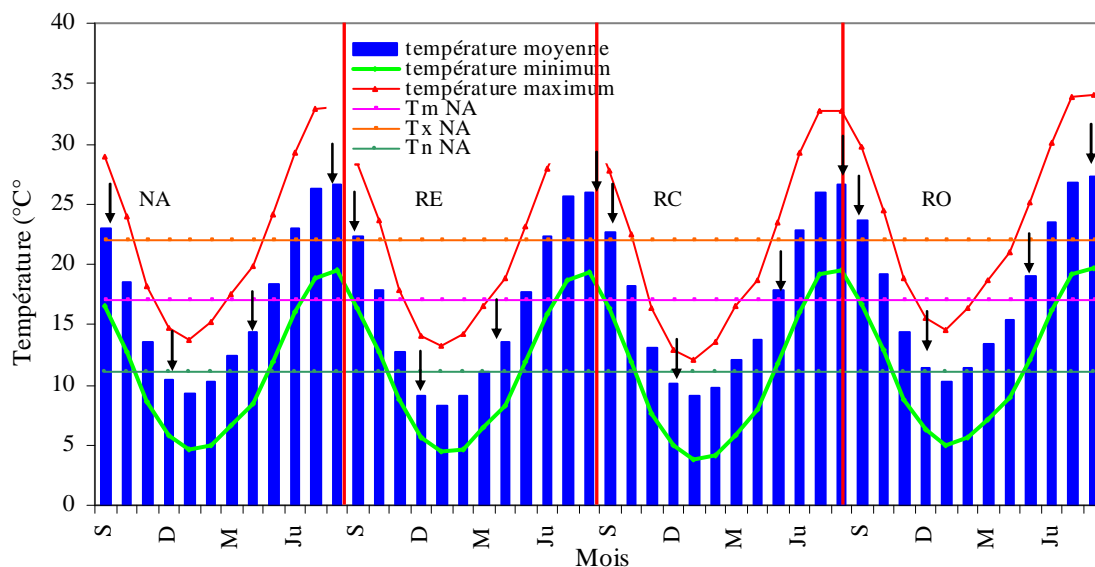


Figure 48. Fluctuation des températures mensuelles (moyenne, minimum, maximum) à l'échelle régionale en référence à celle du NA.

3. Température décadaire

Les courbes thermiques (T_{Dm} , T_{Dn} et T_{Dx}) de la figure 49, localisent les décades chaudes et froides de chaque mois de l'année, à l'échelle régionale et territoriale.

- Septembre, octobre, novembre

A partir de la décade 4 du mois d'O, les températures décadaires moyennes ne dépassent pas $+19,4^{\circ}\text{C}$ fluctuant entre un minimum de $+13,7^{\circ}\text{C}$ et un maximum de $+25,2^{\circ}\text{C}$. Ces dernières cachent les T_{Dx} qui augmentent à $+30^{\circ}\text{C}$, dans les wilayas de Guelma, Souk Ahras, Mascara et Bel Abbess. Durant les décades de N, les moyennes masquent les T_{Dn} qui baissent à $+5$ et à $+2^{\circ}\text{C}$. C'est le cas de Sétif, Bordj Bou Arreiredj, Constantine et Batna.

Ces extrêmes non négligeables, représentent des stress thermiques. Ils causeraient selon Zouaoui et Bensaid (2007) et Zekri *et al.* (2009) des dégâts sur les cultures, comme le retard dans les semis. Toutefois, les T_{Dc} enregistrées, s'avèrent assez élevées par rapport aux besoins thermiques des céréales (semis, germination). Le cumul thermique durant cette saison atteint $1\ 568^{\circ}\text{C}$, soit une moyenne cumulée de la saison de 927°C . Cette valeur est relativement supérieure à la moyenne thermique de croissance saisonnière.

- Décembre, janvier, février

Durant les décades 11 à 17 des mois de D à F, le minimum moyen de $+8,5^{\circ}\text{C}$ est enregistré à la décade 13 (3 J). Cette valeur fluctue entre une T_{Dn} de $+4,2^{\circ}\text{C}$ et une T_{Dx} de $+12,9^{\circ}\text{C}$. Ces

valeurs masques les cumuls thermiques décadaires qui évoluent de 1 568 à 2 417°C, soit une moyenne de 2 048°C. Cette valeur représente approximativement la période de semis, de tallage et de montaison des céréales.

- Mars, avril, mai

En effet, à partir de la décade 18 (du 22 au 3 M), les T_M croient régulièrement enregistrant les valeurs les plus élevées durant les décades du 26 (du 12 au 22) et du 27 (du 22 au 31) du mois de Ma. De l'ordre de +10,3°C (22 F), elles atteignent +17,7°C (12 Ma) et +19,4°C (22 Ma).

Les températures moyennes cumulées durant ces décades, évoluent ainsi, entre 2 517 et 3 657°C, soit une moyenne de 3 087°C. Ces degrés thermiques reproduisent la période de floraison et de maturation des grains céréaliers.

Ces résultats plus précis, montrent que la répartition des températures du climat par phase végétative, est supérieure aux besoins thermiques des céréales. Ces hausses produiraient Selon Pionnier (1937), durant la phase levée tallage, un raccourcissement de la germination des céréales. Et durant la croissance, elles accélèrent la phase de reproduction diminuant les risques d'échaudage. A l'échelle régionale, les T_{Dm} les plus élevées, caractérisent la RO, sèche, suivie par celles de la RC et la RE, relativement humides.

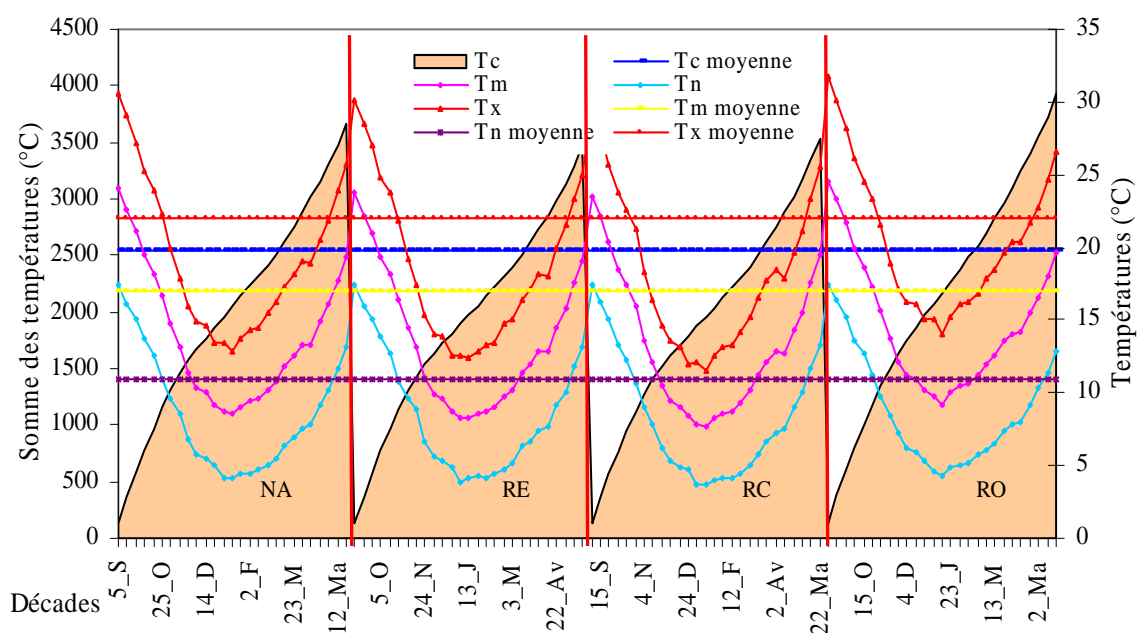


Figure 49. Tendance des paramètres thermiques décadaires (moyenne, minimum, maximum, cumulée) du NA.

II. Température - pluviométrie

La combinaison des températures aux pluies supérieures à 0,1 et notamment à celles qui sont supérieures à 5 mm, donne une esquisse de la LGP du Nord du pays. Cette dernière est reflétée par la figure 50, qui situe nettement les saisons pluvieuses et sèches caractéristiques du climat.

- Seuil supérieur à 0,1 mm

A ce seuil de plus de 0,1 mm, la saison pluvieuse débute à la décade 7 du 4 N et s'étend jusqu'à la décade 24 du 22 A coïncidant avec la saison froide, soit une saison de 180 j.

- Seuil supérieur à 5 mm

Au seuil de plus de 5 mm, la saison pluvieuse montre une variation du régime saisonnier. En effet, les pluies sont retardées à la décade 9 du 24 N et se terminent précocement, à la décade 17 du 12 F. A ce seuil, la combinaison des T_{Dm} relève une réduction de la saison agricole ; laquelle ne dépasse pas une durée de 2 mois et demie (du 24 N au 12 F), soit 90 j. Cette réduction s'exprime par la diminution des P_{Dm} , le nombre de jp et l'augmentation des T_{Dm} en automne et au printemps.

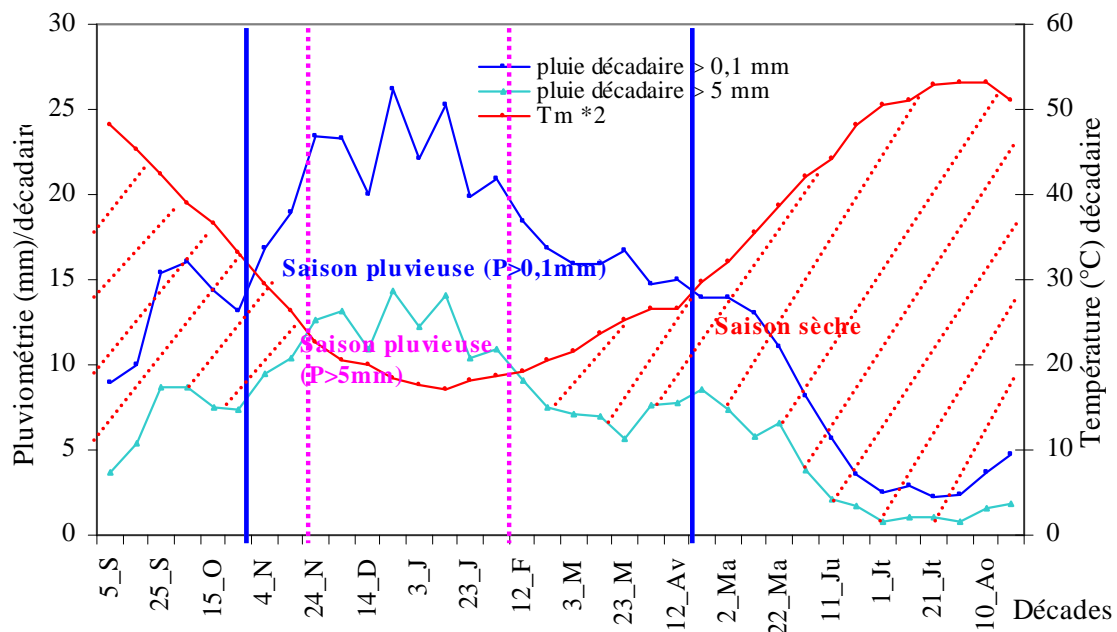


Figure 50. Combinaison des températures et des pluies supérieures à 0,1 et 5 mm en relation avec la longueur de la période de croissance des céréales.

Ainsi, les courbes de température et de pluviométrie significative considérées conjointement, témoignent qu'un semis céréalier pluvial, ne peut être pratiqué avant la décade du 24 N en référence aux dates de semis simulées par le modèle pluviométrique.

Ce résultat en relation avec la durée de la LGP de la céréaliculture, affecte les phases d'élaboration des rendements, depuis le semis à la récolte. Bien que, la période de croissance pour la plupart des cultures se poursuit au-delà de la saison des pluies, dans la mesure où les cultures puissent puiser de l'humidité stockée dans le profil du sol.

De manière générale, de la RE (24 N au 22 F, soit 100 j) à la RC (4 N au 12 F, soit 110 j) vers la RO (24 D au 12 F, soit 60 j), la LGP se trouve sous la barre critique de 120 j. Ces résultats certifient d'un climat semi-aride à hyper-aride (70-180 j), en référence à la classification des zones écologiques (Fischer *et al.*, 2002 ; Chaise *et al.*, 2005).

Ces aboutissements renforcent les résultats de la pluviométrie considérée séparément, à la même échelle de temps et d'espace justifiant proportionnellement, les rendements très faibles des céréales. Emberger (1942) précise en effet, qu'un climat peut être météorologiquement méditerranéen, posséder la courbe pluviométrique méditerranéenne caractéristique, sans l'être écologiquement ni biologiquement.

Conclusion

La température moyenne du NA, connaît une augmentation globale de +0,3°C par rapport à la moyenne estimée à 16,8°C, sur 71 ans. Cette moyenne masque l'écart négatif de -0,6 à -0,4°C dans la RE et la RC et positif de +1,8°C dans la RO. Toutefois, les années 1980 à 2007 sont les plus chaudes (+0,8°C) de la période considérée. Les premiers signes de l'évolution climatique sont ainsi, relevés en relation avec l'équilibre des milieux céréaliers.

L'impact thermique associé à celui des pluies (automnale, hivernale et printanière), montre une tendance au raccourcissement de la période de croissance qui passe de 180 j ($p_{\geq 0,1 \text{ mm}}$) à 90 j ($p_{\geq 5 \text{ mm}}$). Cette réduction se manifeste par la diminution des pluies significatives et les stress de chaleurs, qui affectent la vitesse et la durée de croissance des grains.

Ces résultats expliquent partiellement, la réduction des rendements céréaliers. Par conséquent, une sélection de variétés acclimatées, un ajustement de calendriers et de techniques culturales ainsi, que la prise en compte des risques liés aux maladies des cultures, nécessitent d'être cadrés, dans cette conjoncture de changements climatiques.

Partie III.

Agroclimatologie

I. Céréaliculture - pluviométrie

1. Production

1.1. Echelle temporelle

La production céréalière moyenne de 20 millions q sur la période de 71 ans, s'établit comme suit, lors de chacune des phases identifiées (figure 51). La tendance productive moyenne durant cette période suit une fois de plus, celle de la pluie annuelle moyenne notamment durant la première phase. La P_r moyenne au cours de la période correspondante (fin des années 1930 et années 1940) est de 12 millions q, soit un chiffre inférieur de 40% à la moyenne de toute la série, en relation avec un E_t pluviométrique de -4%. Durant la seconde phase, la P_{Am} a augmenté de 10%, entraînant un accroissement de la P_r de 26%, mais demeurant à 10% au-dessous de la moyenne générale. Le constat relatif à la troisième phase est plus inattendu. En effet, à l'écart pluviométrique de -6% correspond cette fois un gain de 15% par rapport à la P_r moyenne. Cet E_t est fourni par les productions de l'ordre de 35 et de 37 millions q au cours des années, 1975/1976 et 1979/1980 et 46 millions et 41 millions q réalisés les années 1995/1996 et 2002/2003. Il s'ensuit que les années sèches ne sont pas automatiquement des années de faibles productions, dès lors que des facteurs autres que la pluviométrie, interviennent favorablement. Enfin, durant la phase qui s'amorce actuellement, l'accroissement de la P_r (+45%) épouse en l'amplifiant celui de la P_{Am} (+4%). En fin de compte, il semble bien se confirmer que l'amélioration de la P_r céréalière est le plus souvent tributaire de celle de la P_{Am} , même si les résultats de la troisième phase rappellent le poids que peuvent jouer d'autres influences climatiques et notamment d'ordre technique.

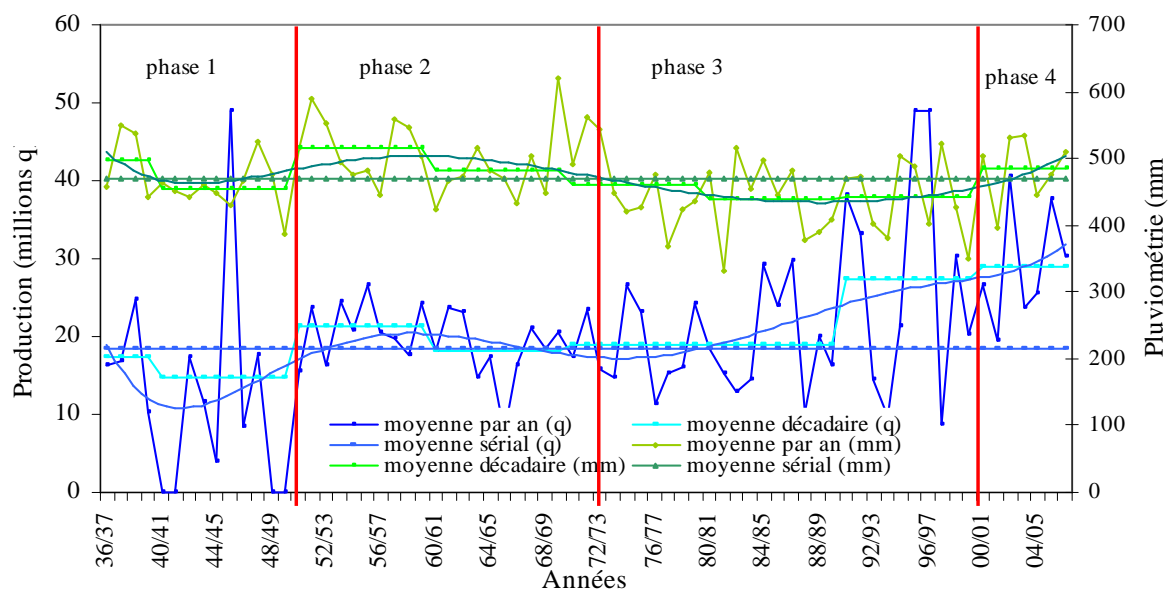


Figure 51. Tendence de la production annuelle moyenne (q) et de la pluviométrie.

1.2. Echelle spatiale

La production céréalière moyenne de 664 374 q par wilaya, montre des fluctuations spatiales en contraste avec celles des pluies annuelles (figure 52). Dans la REH et la RES, les écarts productifs moyens évoluent entre -13 et +31%. Dans les RCH et ROS, ils sont compris entre -35% et +13%. Ils opposent ceux des pluies qui fluctuent respectivement entre +44%, -21%, +10% et -33%. Ces caractéristiques cachent des réalités de P_r qui atteignent 1,1 millions à 1,9 millions q pour des P_A qui passent du simple (300 mm) au double (600 mm). C'est le cas des wilayas de Guelma (579 mm), Oum El Bouaghi (346 mm), Sétif (391 mm), Médéa (500 mm), Tiaret et Sidi Bel Abbas (proches de 300 mm). En effet, ces productions sont surtout reflétées par l'étendue des emblavures en référence à la moyenneensemencée (90 795 ha/an).

Quant aux productions les plus faibles (moins de 315 442 q), elles caractérisent encore une fois, les wilayas montagneuses et littorales (Jijel, Bejaia, Boumerdes, Alger et Tipaza) dont les surfaces céréalières moyennes sont limitées. La variabilité de la P_r moins prononcée (+63%) que celle de la P_A , relève une augmentation de +5% de la RE à la RO alors que, la P_{Am} diminue.

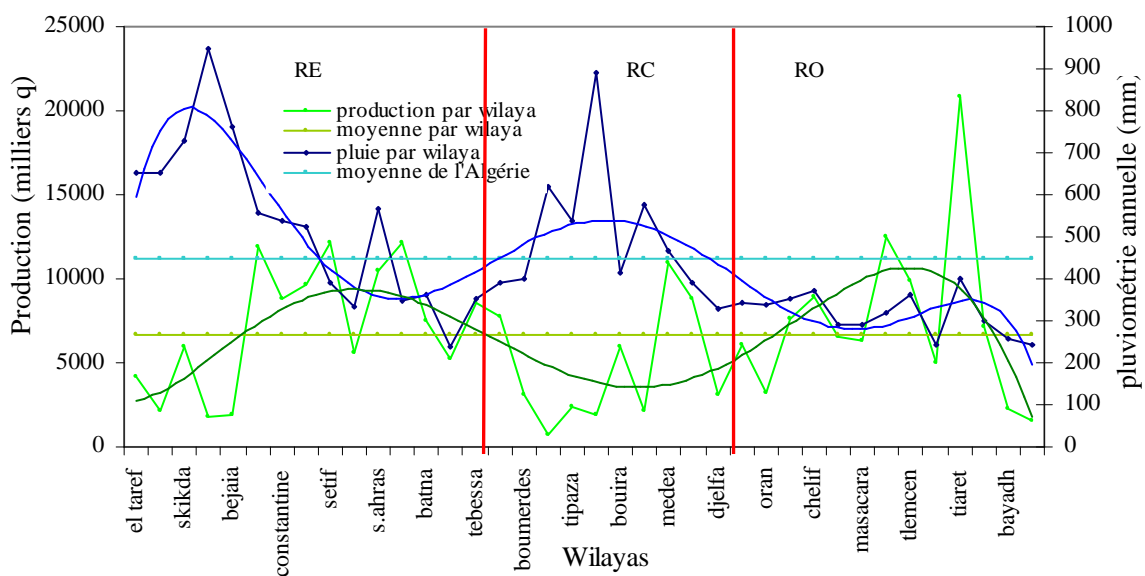


Figure 52. Production (q) et pluviométrie annuelle dans les wilayas céréalières.

1.3. Echelle spatio-temporelle

La production spatio-temporelle caractérise davantage les écarts productifs en relation avec les quantités pluviométriques, d'une phase à l'autre (figure 53). L'écart productif enregistré au cours de la phase 1, est provoqué par ceux de la REH (+10%), la RES (+3%) et la ROS (+7%). Ces E_t sont toutefois, contradictoires à l'évolution des P_A .

Quant à l'écart négatif de la phase 2, il montre des productions qui convergent dans le sens des pluies régionales. Les écarts négatifs les plus élevés, définissent la ROS (-27%) et la RES (-14%).

Enfin, l'écart positif de la phase 3 est particulièrement lié aux E_t productifs de la RO (+27%) et de la RE (+19%), sèches caractérisées par des P_A faibles. Alors que, la RE et la RC humides enregistrent à peine un E_t de +15% en relation avec des P_A plus importantes. A titre indicatif, des pluies comprises entre 300 et 447 mm ont produit des moyennes de 15 millions q (régions sèches) ; alors que des pluies égales ou supérieures à 635 mm n'ont fourni que 6 millions q (régions humides), en 2002/2003.

Les résultats de cette étude, contrastent avec ceux obtenus par Papy (1979) dans des conditions similaires des plaines marocaines. Cet auteur suggère que toute année dont la pluviométrie moyenne est inférieure ou égale à 300 mm, est systématiquement une année de faible production.

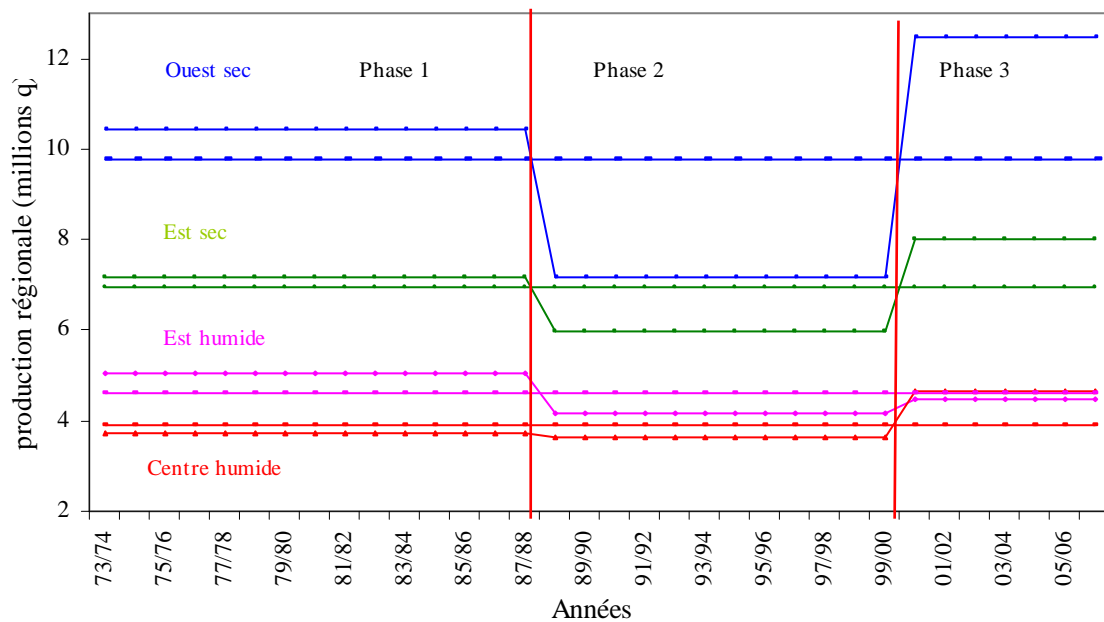


Figure 53. Production spatio-temporelle par région pluviométrique.

2. Rendement

2.1. Echelle temporelle

Le rendement céréalier moyen de 7 q/ha a également évolué de manière irrégulière en comparaison à la pluie, durant toute la période d'étude. Il a fluctué entre un minimum de 2

q/ha et un maximum de 13. En effet, l'analyse du graphique (figure 54) montre que ce ne sont pas toujours les fluctuations du R_d , qui rendent compte de la variabilité des tonnages produits. Quand la pluie annuelle augmente de la première à la deuxième phase, le rendement n'évolue quasiment pas et se maintient à quelque 34% au-dessous de la moyenne (1936-2007). L'augmentation de la P_r qui intervient alors, comme signalé précédemment, ne peut s'expliquer que par un accroissement de 500 000 ha de la superficie consacrée aux cultures de céréales.

Inversement, durant la troisième phase pluviométrique caractérisée par un E_t de -6%, l'augmentation de +5% du rendement rend compte d'un accroissement de la production de 10%. L'amélioration du rendement vient ainsi, annuler l'effet péjoratif de la sécheresse.

A partir de 2000-2001, les courbes de R_d et de P_A semblent de nouveau évoluer en étroite concordance, le retour d'années bien arrosées (moyenne de 500 mm) allant de pair avec une hausse de près de 38% du rendement moyen.

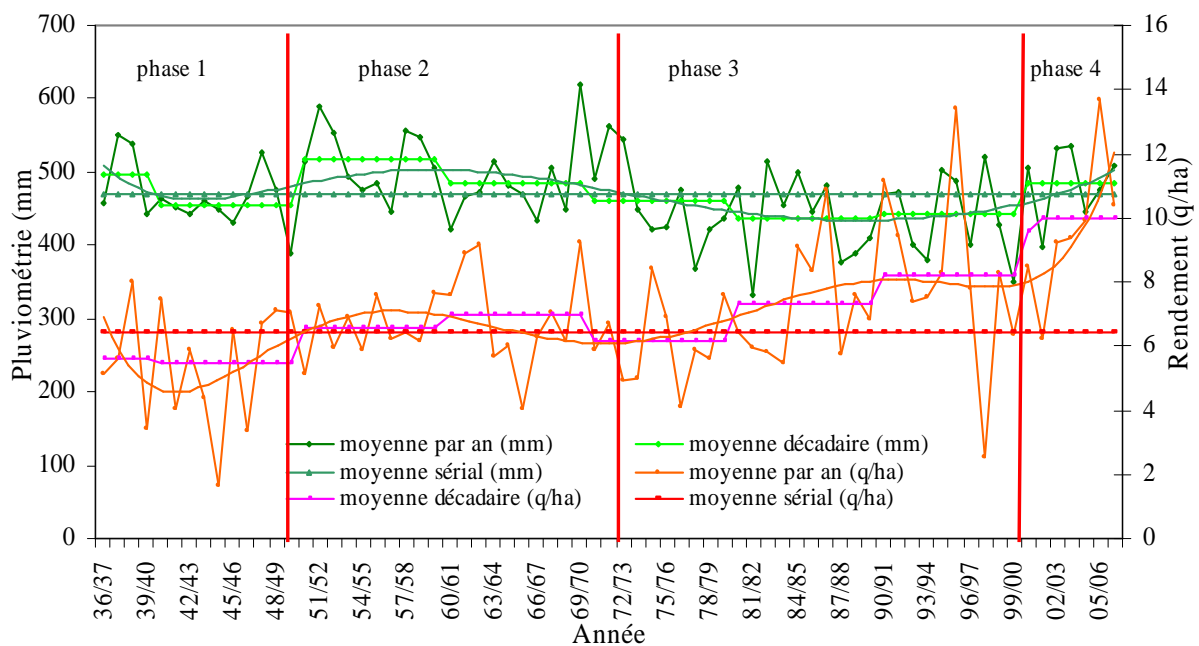


Figure 54. Rendement céréalier et pluie annuelle sur 71 ans (1936-2007).

2.2. Echelle spatiale

Le rendement moyen spatial dans les wilayas littorales et montagneuses ainsi, que celui des wilayas réputées céréalières, évolue globalement dans le sens des P_A à l'opposé des productions (figure 55).

La REH dont la P_{Am} a dépassé de 44% la moyenne de la période, a enregistré paradoxalement une diminution de R_d de 12%. En revanche, la RCH où la P_{Am} a augmenté de seulement 10%, le R_d a gagné 22%.

La RES et la ROS ayant des caractéristiques similaires, enregistrent contrairement aux productions, un E_t de rendements très proche l'un de l'autre (-16% et -13%), alors que les pluies annuelles spécifient un E_t de +18%.

Ces résultats sont sûrement dus, comme souligné dans le chapitre 3 (partie 2) à la faiblesse et surtout à la mauvaise répartition des $P_{\geq 5mm}$, combinés à des températures relativement élevées influençant la production.

De manière générale, les rendements diminuent des régions humides aux régions sèches ; mais attestent d'une variabilité plus faible (<46%) en comparaison à la pluie annuelle et à la production. Cette variabilité confirme toutefois, le caractère aléatoire et partiel de ces facteurs.

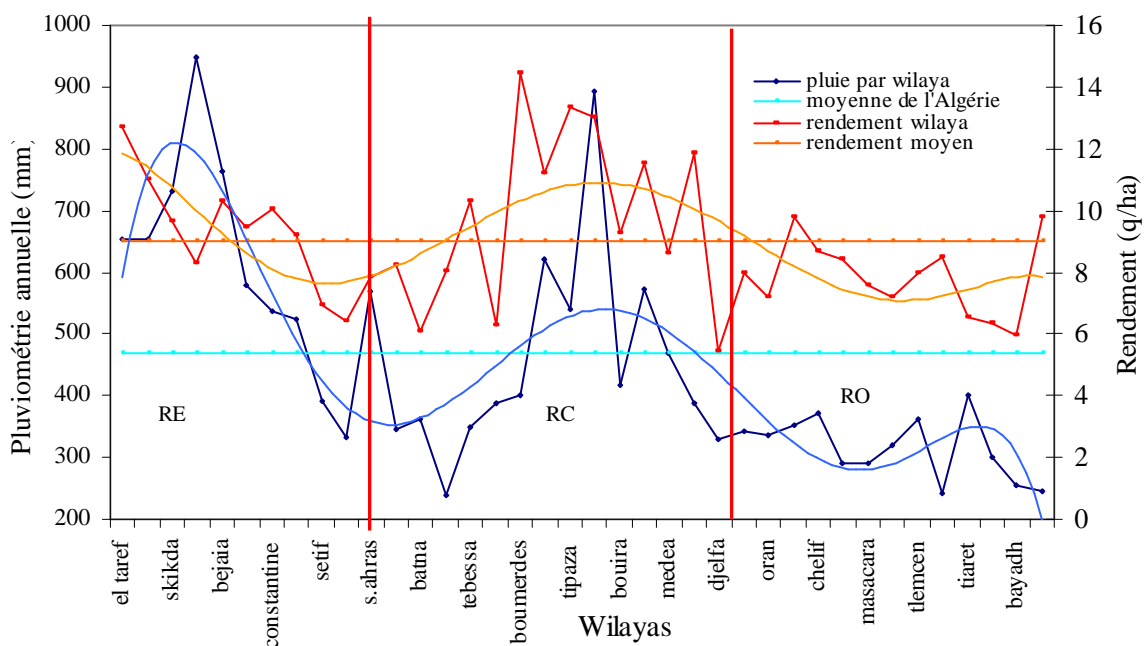


Figure 55. Rendement moyen et pluie moyenne par wilaya céréalière.

2.3. Echelle spatio-temporelle

Le rendement céréalière montre les écarts positifs et négatifs produits en relation avec les pluies annuelles, dans le temps et dans l'espace (figure 56).

L'écart négatif de rendement au cours de la phase 1 résulte de l'ensemble des régions ($-13\% < E_t < -3\%$). Ils tendent à la hausse aux cours de la phase 2 et 3, même si un E_t négatif est observé dans la ROS (-9%) en relation avec des P_A plus faibles.

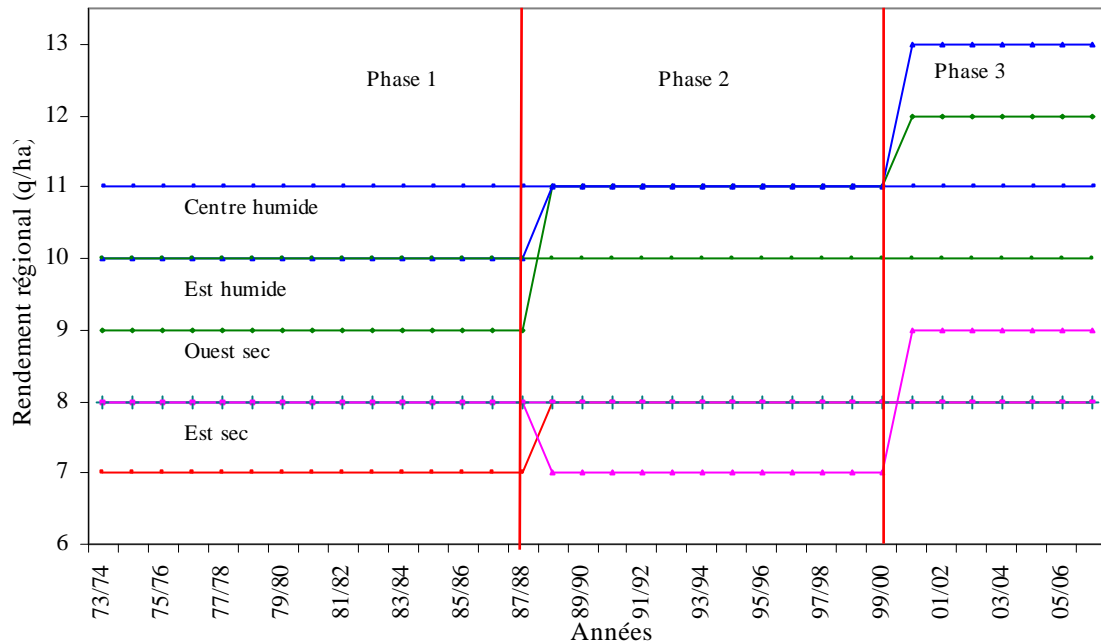


Figure 56. Evolution spatio-temporelle des rendements moyens à l'échelle de l'aire d'étude.

3. Production du blé dur blé tendre orge avoine

3.1. Echelle temporelle

Par culture, la production des céréales est liée durant les années (1973-1987) essentiellement à celle de l'orge (+41%), suivie de celle du blé dur (+6%) en dépit des P_A déficitaires (figure 57). Les P_r de blé tendre et de l'avoine étant stationnaires autour de leurs moyennes.

Durant les années (1987-2000), la P_r des cultures semble évoluer dans le sens des P_A ; alors que pour les années (2000-2007), les productions de l'orge et de l'avoine comparativement à celles des blés, enregistrent des écarts négatifs, en dépit des P_A qui augmentent.

Ces résultats expliqués par la pluie annuelle à seulement +30% (blé dur), +28% (blé tendre), +8% (orge) et +22% (avoine), confirment davantage, la mauvaise répartition des pluies surtout significatives, en relation avec la croissance des cultures.

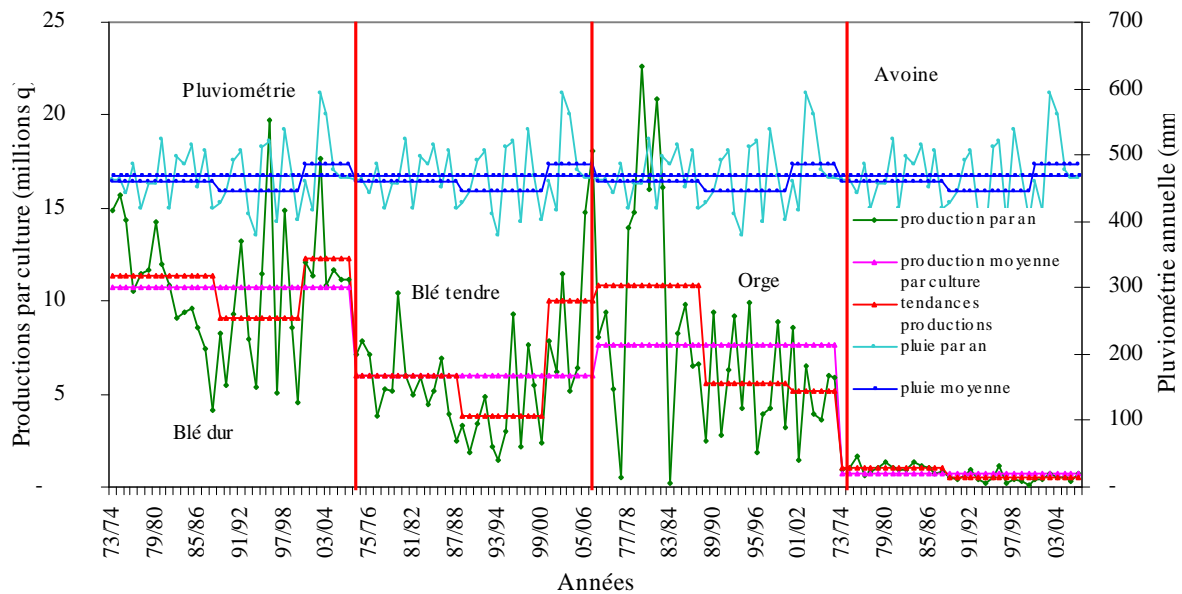


Figure 57. Pluies et productions annuelles par espèce céréalière (BD, BT, OR, AV), à l'échelle du Nord du territoire.

3.2. Echelle spatiale

A cette échelle d'espace, la figure 58 montre l'évolution des productions de chaque culture en relation avec les pluies annuelles, d'une wilaya à l'autre.

Dans les wilayas de la RE et la RC, malgré une tendance pluviométrique supérieure à la moyenne générale, les P_r de blé tendre et de l'avoine restent inférieures à la moyenne céréalière.

La P_A combinée aux P_r de ces cultures, explique à moins de 15% cette évolution.

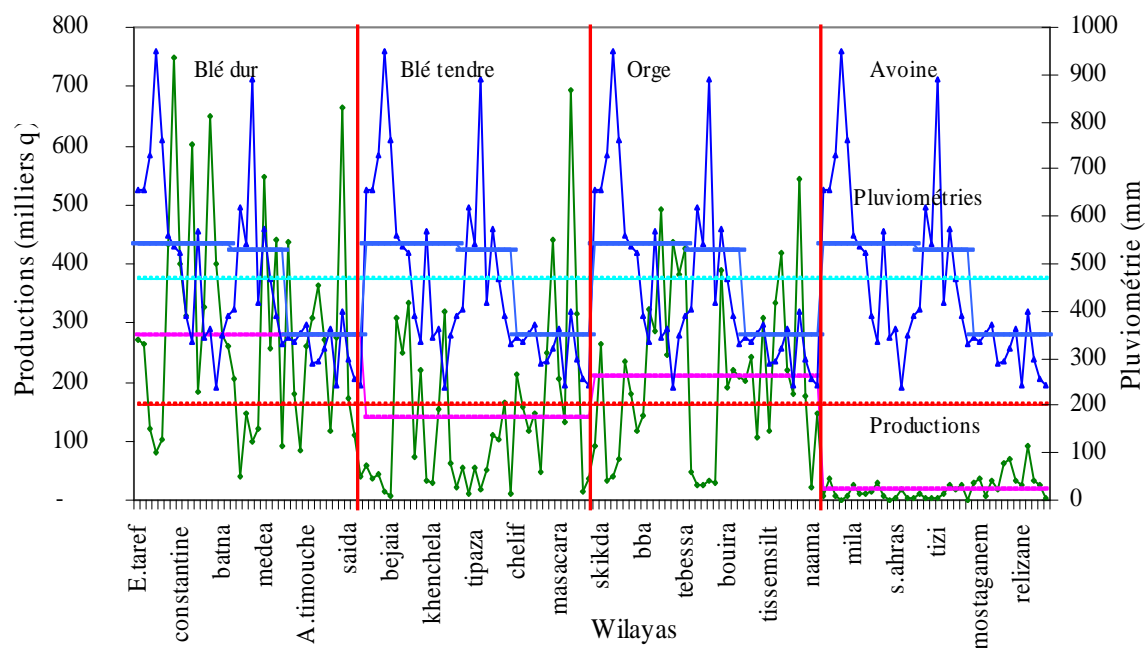


Figure 58. Evolution spatiale des pluies annuelles et des productions par culture (BD, BT, OR, AV).

3.3. Echelle spatio-temporelle

L'évolution des productions du blé dur, du blé tendre, de l'orge et de l'avoine de la RE à la RO, semble très aléatoire en relation avec les pluies annuelles, d'une phase à une autre (figure 59). A cette échelle d'espace et de temps, la P_A ne semble pas expliquer toutes les situations de P_T céréalières. En effet, elle indique une liaison avec la P_T du blé dur qui varie de 13% à 46%. Ces valeurs atteignent pour le blé tendre, entre 18% et 38%. Elles ne dépassent pas 13% concernant l'orge et l'avoine. Ces chiffres interpréteraient éventuellement une valorisation efficace des pluies significatives, d'une région à l'autre. C'est le cas dans la RE et dans la RC, humides mais moins productives. Ils expliqueraient par ailleurs, les sécheresses mensuelles et plus précisément décadaires qui caractérisent les cycles agricoles. Ces sécheresses sont par ailleurs, combinées aux autres facteurs de productions, à savoir les températures, les dates de semis, les variétés ensemencées et les pratiques culturales.

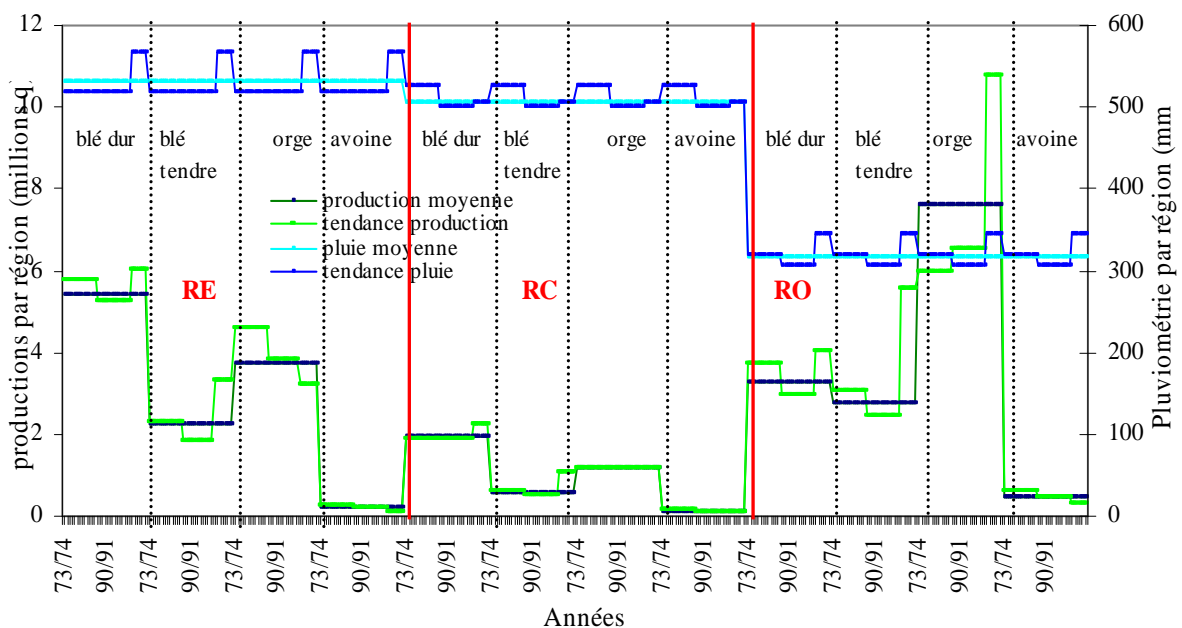


Figure 59. Productions spatio-temporelles par culture (BD, BT, OR, AV) en relation avec les pluies régionales.

4. Rendements de blé dur blé tendre orge et avoine

4.1. Echelle spatiale

Les fluctuations des rendements du blé dur, du blé tendre, de l'orge et de l'avoine en relation avec les pluies annuelles moyennes d'une région à l'autre, sont expliquées respectivement à 46%, 63%, 35% et 20% (figure 60).

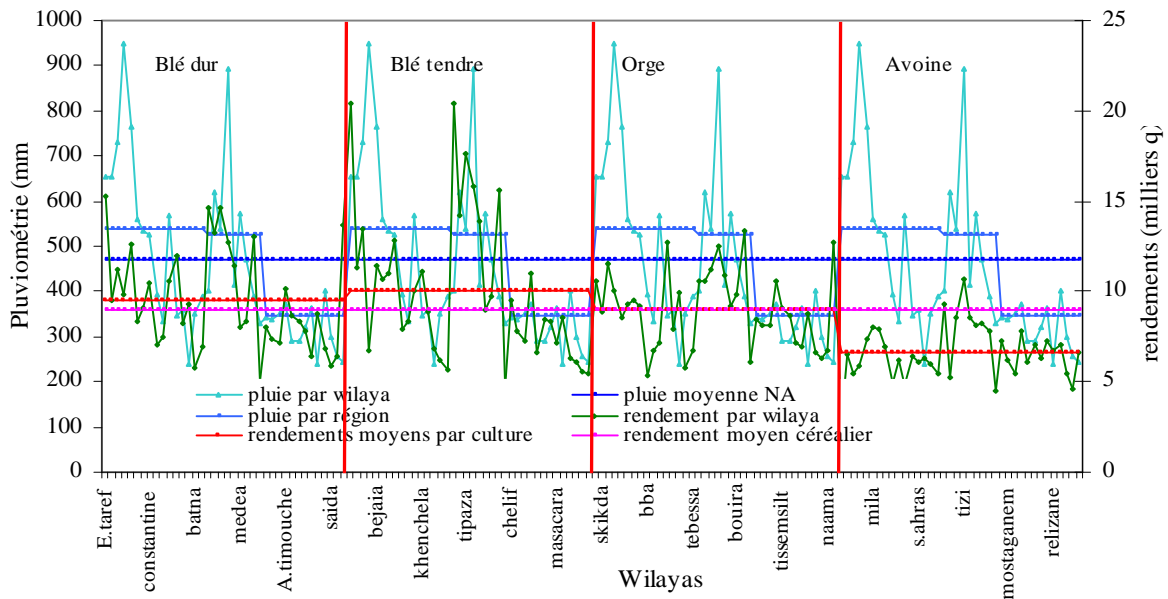


Figure 60. Rendements enregistrés par culture (BD, BT, OR, AV) en référence aux pluies annuelles moyennes.

4.2. Echelle spatio-temporelle

La pluie annuelle et le rendement annuel des céréales par culture (blé dur, blé tendre, orge et avoine) font ressortir des interdépendances en dépit de leurs variabilités à cette échelle de temps et d'espace (figure 61). Cette interdépendance ne dépasse pas +10% sur 71 ans (1936-2007). Ce chiffre significatif et marqué à des probabilités <5%, cache la liaison qui atteint +37% durant les trois dernières décennies, il cache également les corrélations caractéristiques de chaque spéculation en relation avec les pluies annuelles régionales.

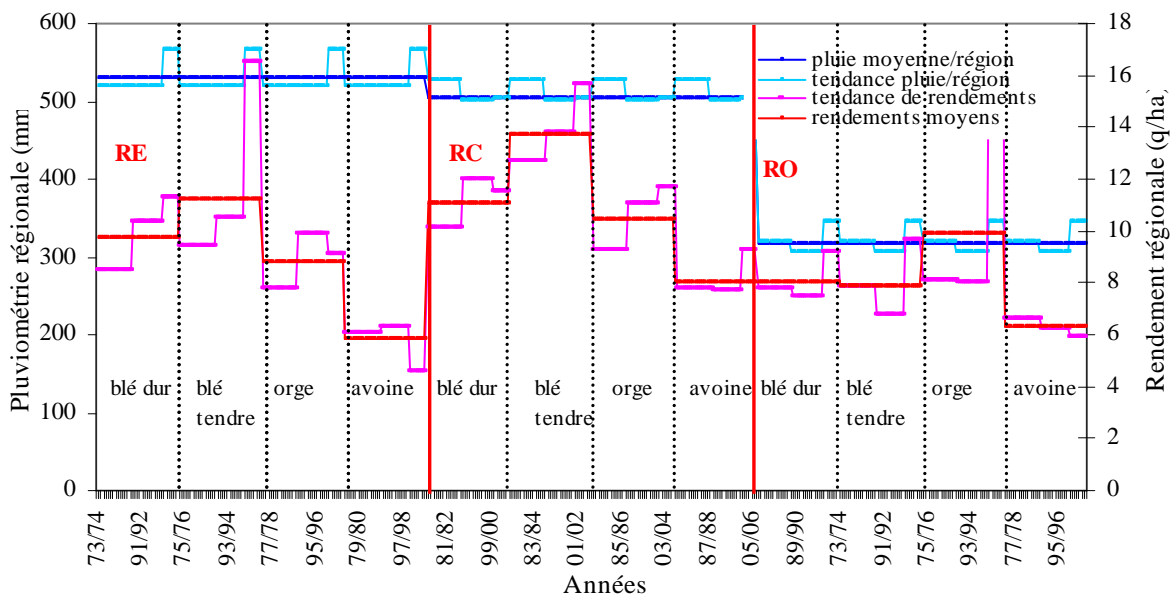


Figure 61. Rendements spatio-temporelles enregistrés par culture (BD, BT, OR, AV) en relation avec les pluies annuelles régionales.

5. Production - rendement - pluie

Les différents résultats sont récapitulés par les régressions établies entre la production, le rendement et les $P_{\geq 0,1\text{mm}}$, $P_{\geq 5\text{mm}}$, $P_{\geq 10\text{mm}}$, $P_{\geq 20\text{mm}}$ et $P_{\geq 30\text{mm}}$. Les résultats rapportés par la figure 62, montrent des droites dont les pentes sont faibles. Ces dernières confirment la valorisation efficiente des pluies significatives et qui demeurent mal réparties en relation avec les phases phénologiques des céréales. L'impact des P_A aux différents seuils, explique la P_r à +10%, +15%, +14%, +13% et +18%. Elles expliquent le R_d à des taux qui atteignent +29%, +31%, +35%, +37% et +31%, à l'échelle de l'aire d'étude.

Il est évident qu'en plus, de la mauvaise répartition des pluies annuelles dans le temps et dans l'espace, d'autres facteurs ont une influence considérable sur les résultats des campagnes agricoles considérées. Il s'agit de la gestion de la sécheresse ou déficit hydrique en relation avec les dates de semis, les variétés utilisées, le type et le travail de sol, le désherbage et surtout de la fertilisation. Smadhi et Zella (2009) relève en effet, que la coïncidence de la période de $P_{A \geq 0,1\text{mm}}$ favorables (1950-1973) n'explique pas toute la période de déficits céréaliers. L'amélioration du R_d de 38% au cours des dernières années, vient annuler l'effet péjoratif de la sécheresse. Dans ce cas, selon le MAPA (2007), il est facile de comprendre que la sécheresse agronomique ne coïncide pas nécessairement avec la sécheresse météorologique. Les pluviométries significatives, les productions et les rendements expliquent pourtant le déplacement des cultures de régions fertiles à des régions moins fertiles. Ces résultats corroborent les observations faites par Berthault (1930) dans le même territoire et par Grouzis et Albergel (1998) en Afrique de l'Ouest.

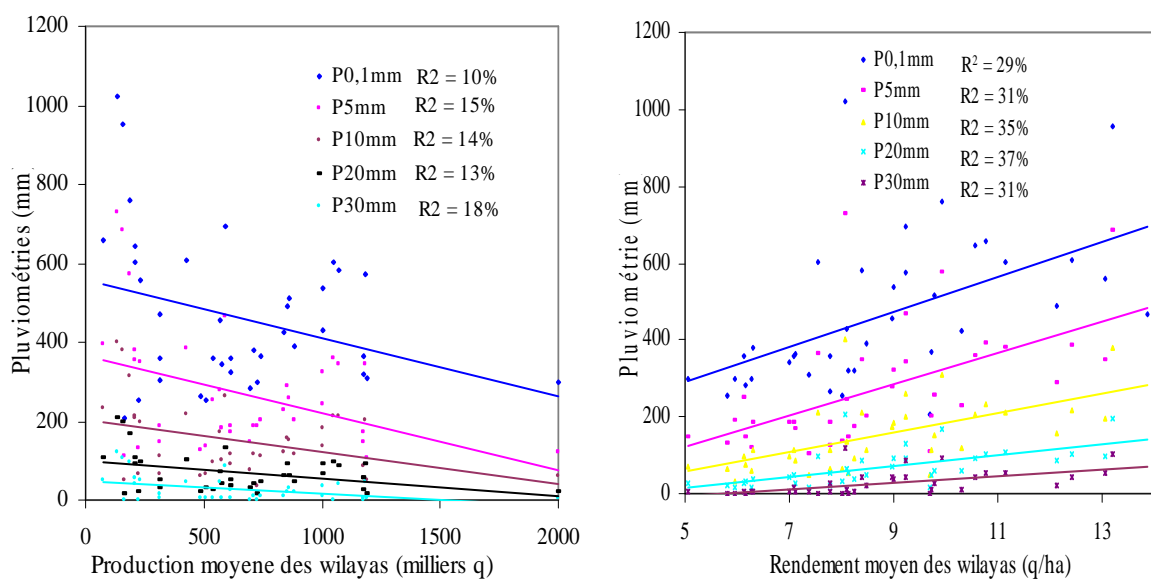


Figure 62. Production et rendement céréalier combinés aux pluies à différents seuils, sur 71 ans.

6. Pluie et besoins en eau

L'évolution des $P_{\geq 0,1\text{mm}}$ et des $P_{\geq 5\text{mm}}$ de S à Ju, est comparée aux besoins en eau des céréales définis par Baldy (1974) pour les régions humides et les régions sèches. Elles représentent notamment, les wilayas littorales et sublittorales, humides mais montagneuses (a) et les wilayas continentales, sèches et planes (b). La figure 63 confirme que les pluies mensuelles hypothétiquement disponibles durant les phases d'élaboration des grains céréaliers, évoluent dans le sens des sécheresses annuelles. Le calcul des E_t pluviométriques par rapport aux besoins en eau de chaque mois, estime cette évolution.

- Seuil supérieur à 0,1 mm

Dans les premières wilayas (a), les pluies de S à F fournissent théoriquement les quantités d'eaux nécessaires à la préparation des sols (>26 mm), du semis (28 à 56 mm), de la germination (80 à 108 mm) et du tallage (108 à 93 mm). Mais, à partir de M, A et Ma où les besoins en eau augmentent (à 75, 115 et 105 mm), les pluies insuffisantes, enregistrent des E_t de -16%, -71% et -63%.

- Seuil supérieur à 5 mm

Dès les premiers mois de développement, les pluies diminuent affectant fortement les besoins en eau mensuels. Les E_t pluviométriques les plus élevés, sont observés à partir du mois de F (-18%), M (-47%), A (-86%) à Ma (-83%).

Dans les secondes wilayas (b), où les céréales semblent moins exigeantes en eau, les E_t sont relativement moins prononcés même s'ils sont observés le long du cycle agricole.

Les besoins en eau faiblement assurés, confirment ainsi, les résultats de sécheresse en relation avec les phases critiques des céréales. Le déficit hydrique de début de cycle coïncide ainsi, avec le démarrage de la culture (levée, tallage) et celui de fin de cycle coïncide avec la maturation et le remplissage des grains. Ces déficits caractéristiques de la P_A du NA, sont relativement responsables des pertes de R_d à n'importe quel stade de développement des céréales (blé dur, blé tendre, orge et avoine).

Ces résultats concordent avec les aboutissements précédents (LGP) et justifieraient les rendements faibles, du Nord du pays.

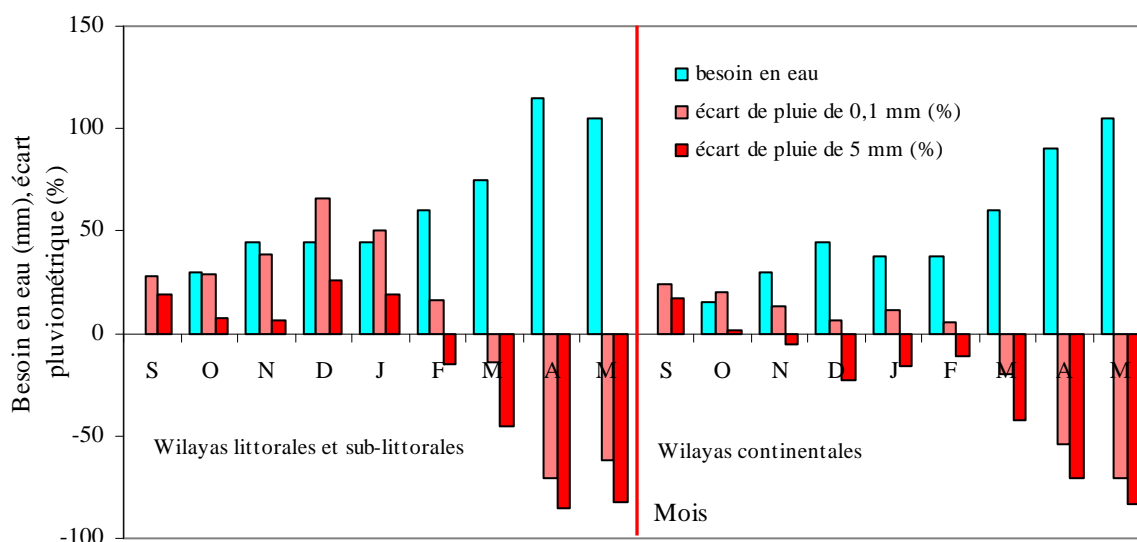


Figure 63. Répartition des pluies supérieures à 0,1 et 5 mm en comparaison aux besoins en eau mensuels des céréales pluviales dans les régions humides (a) et sèches (b).

II. Céréaliculture - température

1. Production

1.1. Echelle temporelle

La tendance productive céréalière en comparaison à celle des T_{Am} à l'échelle du NA, évolue comme suit sur 71 ans (1936-2007) (figure 64).

Au cours de la première et de la troisième phase, la baisse thermique (les années 1970) explique partiellement la baisse de la P_r . Celle-ci étant liée également, à des années pluviométriques défavorables.

Durant la deuxième, la troisième (1980-2000) et la quatrième phase, les T_{Am} en hausses régulières semblent avoir plutôt, un effet bénéfique sur la P_r , surtout durant les années 2000 coïncidant avec une alimentation en eau devenant meilleure. Ces résultats coïncident avec ceux de Rosensweig et Tubiello (1997) qui avancent qu'une hausse de la T_{Am} ne dépassant pas 2°C , pourrait augmenter les productions céréalières.

Après la pluie annuelle, la température caractérisée par une faible variabilité, contribuerait à l'amélioration de la P_r de 17%, selon le test de Spearman, dans cette conjoncture reflétée par les changements climatiques.

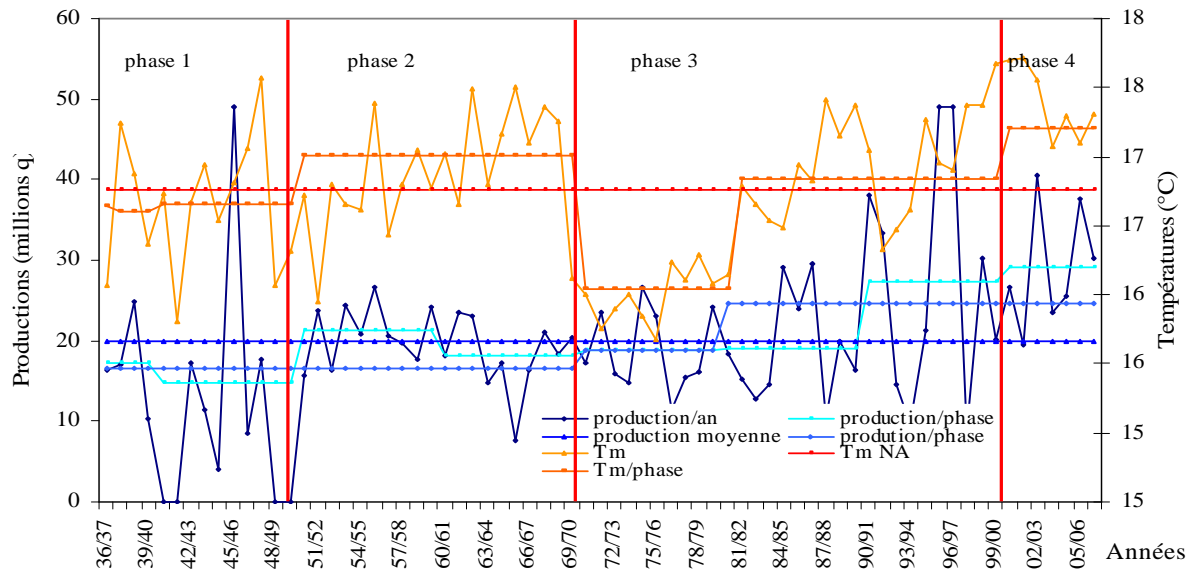


Figure 64. Evolution temporelle de la production et de la température annuelle moyenne.

1.2. Echelle spatiale

La production moyenne céréalière et les T_{Am} par wilaya, montrent des fluctuations qui évoluent dans le même sens dans la RC et dans la RO (figure 65). Cette évolution amène à penser que ce facteur est aussi, déterminant que les P_{Am} sur la P_r céréalière. Même si les résultats de la P_r dans la RE, semblent plus liés à la pluie favorable des wilayas littorale et sublittorale. La variabilité thermique contribue cependant, à atténuer les effets négatifs des P_{Am} .

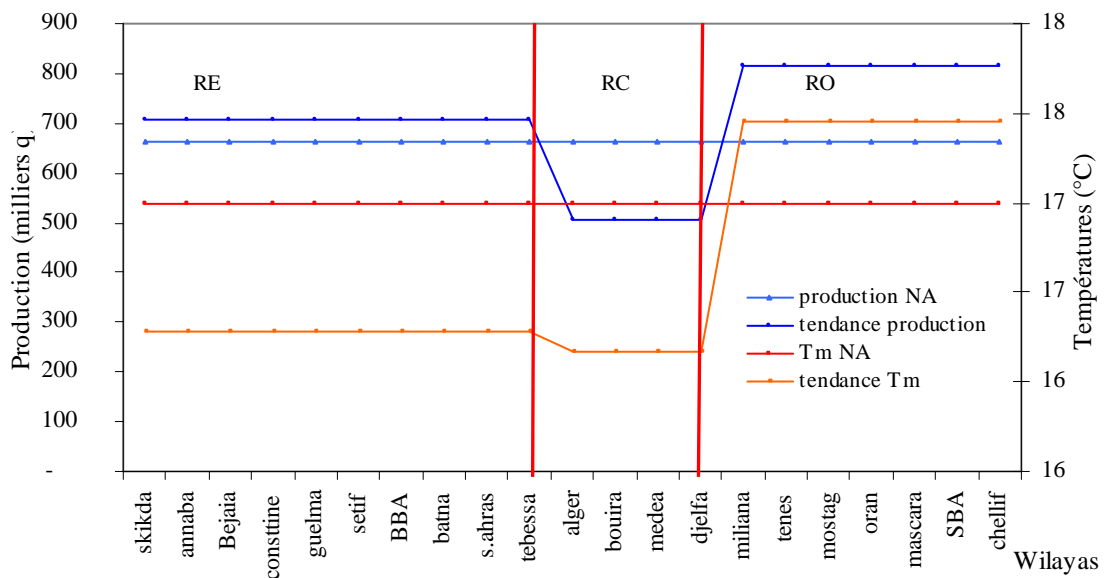


Figure 65. Tendence de la production moyenne et de la température annuelle moyenne dans les wilayas céréalières.

2. Rendement

2.1. Echelle temporelle

Selon le graphique (figure 66) les T_{Am} semblent évoluer dans le sens des R_d . L'augmentation de la P_r qui intervient comme signalé précédemment par un accroissement de la S_e céréalière, pourrait s'expliquer également, par l'accroissement régulier de la T_{Am} d'une décennie à l'autre. La dernière décennie confirme ce constat. Ainsi, l'accroissement et l'abaissement des T_{Am} contribueraient à l'amélioration du R_d en atténuant les effets négatifs des P_A .

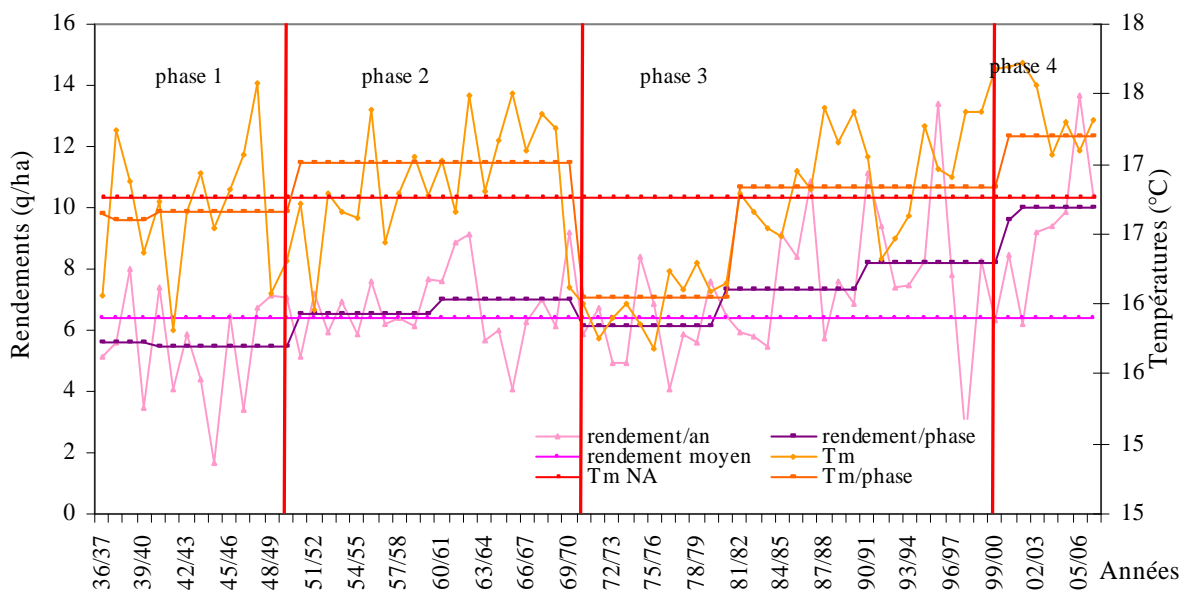


Figure 66. Evolution temporelle du rendement céréalier et de la température au Nord du territoire.

3. Production rendement du blé dur blé tendre orge avoine

3.1. Echelle temporelle, spatiale et spatio-temporelle

Par culture, la production et les rendements des céréales sur les 35 dernières années (1973-2007) en relation avec la température semble évoluer dans le sens des résultats précédents.

Conclusion

Les caractéristiques spatio-temporelles des pluies annuelles expliquent partiellement l'évolution des productions et des rendements à l'échelle du NA. La pluie annuelle explique la production céréalière entre 6% et 33% et celui du rendement à 7% et 29%. Ces pourcentages variables, sont subordonnés à l'utilisation efficace des $P_{\geq 5mm}$, dans le temps et dans l'espace. Mais ils sont également, subordonnés aux températures en relation avec les autres facteurs

techniques d'amélioration. Ce constat estimerait la production potentielle permise par chaque région céréalière, dans cette conjoncture liée davantage aux aléas climatiques (sécheresses).

Conclusion générale

La sole céréalière exploitée annuellement en Algérie, s'étend sur une superficie pratiquement inchangée de 3 millions ha, depuis 1936 à nos jours. Elle est dominée par la culture du blé dur qui occupe environ la moitié (43%) de la sole. L'orge et le blé tendre occupent respectivement la deuxième (31%) et la troisième (22%) place et enfin l'avoine, avec 4%. La production céréalière moyenne sur cette période de 71 ans, s'établit à 20 millions q. Mais à voir de plus près, il est constaté qu'entre 1930-1950, elle a chuté à 13 millions q, soit une diminution de 37%. Entre les périodes 1973-2000 et 2000-2007, elle a évolué respectivement à plus de 10% et plus 45%. L'analyse du rendement céréalier sur cette période de 71 ans, montre une valeur des plus faibles au monde, soit 7 q/ha. Le rendement s'est amélioré au cours du temps de 5,46 q/ha jusqu'en 1950, à 6,65 q/ha entre 1950 et 1973, à 7,35 q/ha entre 1973 et 2000 et enfin à 9,87 q/ha entre 2000 et 2007. Une évolution, sans doute due à l'intérêt grandissant accordé à la céréaliculture.

La pluviométrie moyenne brute au cours des 71 ans est de 470 mm, une lame théoriquement suffisante pour combler les besoins des céréales. Sa répartition temporelle sur plusieurs années, reflète une alternance de périodes sèches et humides. La première jusqu'à 1950, est déficitaire de 4%, la seconde croit de 6%, la troisième chute de 6% et enfin la dernière gagne 4%. Corrélées à la production céréalière, ces variations n'expliquent pas la prétendue influence de la pluviométrie annuelle. Néanmoins, la considération de différents seuils pluviométriques, montre que la pluie annuelle relativement significative, diminue. Par exemple, pour le seuil 5 mm, la pluie annuelle chute à 280 mm. Cette valeur diminue avec l'augmentation du seuil pluviométrique et devient de plus en plus insuffisante comparativement aux besoins en eau de la culture. Ces derniers sont répartis le long du cycle de vie de la plante, d'où l'intérêt d'examiner la répartition de ces pluies annuelles à l'échelle mensuelles et décennales et de déterminer le nombre de jours de pluie. En comparant aux besoins en eau, il ressort des déficits mensuels qui affectent toutes les périodes de croissance et qui ont sans doute un effet néfaste sur la productivité. Bien que, la pluie annuelle est d'apparence suffisante, les céréales souffrent en réalité de périodes de sécheresses qui peuvent atteindre 15 jours.

La spatialisation des pluies annuelles fait ressortir un gradient décroissant d'Est en Ouest. La région Est la plus arrosée, gagne 14% de pluies propulsant sa moyenne à 540 mm, elle est suivie de la région Centre aussi arrosée (12%) avec près de 526 mm. La région Ouest la plus sèche, avec une moyenne de seulement, 347 mm note un déficit de 26%. Au seuil de pluies significatives supérieures à 5 mm, ces quantités de pluies ne représentent respectivement que 326, 317 et 199 mm, soient des diminutions des lames d'eau de 40% à 43%. Aux seuils plus

élevés, ces pourcentages diminuent davantage enregistrant des déficits annuels de 65% à 96% en relation avec les besoins en eau. Ces résultats attestés par l'évolution des pluies mensuelles et décadaires, confirment des sécheresses plus prononcées sur la partie occidentale du pays, que sur sa partie orientale. L'étude détaillée de la pluviométrie montre que ce facteur reste le plus limitant, auquel fait face la culture des blés.

L'étude des températures montre des signes d'élévation thermique selon un gradient croissant d'Est en Ouest. La température moyenne annuelle est de 16,8°C. Celle correspondant au cycle des céréales ne dépasse pas la moyenne de 15°C. Elle fluctue entre 14,2°C et 15,5°C d'Est en Ouest, du pays.

La répartition de ces températures à l'échelle mensuelle et décadaire, relève une élévation durant les saisons automnale et printanière en comparaison aux besoins thermiques mensuels des céréales. Cette élévation est plus marquée dans la région Ouest que dans la région Est et Centre. Ces résultats combinés à la pluviométrie, situent davantage les saisons pluvieuses caractéristiques du climat du Nord du pays. Ces saisons qui ne dépassent pas 180 jours, certifient de climats secs à très sec. Le déficit hydrique, est réaffirmé.

Les caractéristiques de la température et de la pluviométrie repèrent un raccourcissement de la longueur de la période de croissance, d'Est en Ouest. Les saisons des pluies significativement réduites, voire perturbées, ne correspondent pas aux cycles de croissance des céréales ensemencées habituellement, ce qui expliquerait la faiblesse des rendements. Quelque soit la date de semis, la production d'Est en Ouest, est relativement risquée.

L'amélioration de la tolérance des cultures à ce contexte de déficit hydrique et d'élévation de température, doit se faire par l'utilisation de variétés spécifiques et performantes pouvant ajuster le cycle des cultures à la longueur des saisons des pluies. Cette perspective pourrait être appuyée par une meilleure qualité du travail du sol, de la fertilisation et de nouvelles pratiques culturales. Un diagnostic complet du milieu céréalier doit être entrepris pour apporter les correctifs et atténuer le déficit hydrique, afin d'assurer la sécurité alimentaire d'une population en croissance.

Références

- Abbaassenne F., Bouzerzour H et Hachemi L. 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. An. Agro. INA, El Harrach, n°12, 24-26.
- Abrol Y.P. et Ingram K.T. 2008.** Changement du climat et production. Les effets de la hausse des températures diurnes et nocturnes sur la croissance et les rendements de certaines plantes cultivées. *Archive de la FAO*, 19 p. www.fao.org/docrep/w5183f/w5183f08.htm
- Adi. 2006.** Révolution dans le monde des céréales. 2006-2010. Actualités Diplomatiques et International. 2 p.
- Agoumi A. 2003.** Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques. Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre. Questions et Analyses de Pays en voie de développement et de Pays à Économies en Transition. 14 p. <http://www.iisd.org>. <http://www.cckn.net>
- Ait Amer O., Ambar S., Assabah A., Hamadache A., Lakhar C.L. et Feliach K. 1992.** La production des semences sélectionnées dans les céréales. Les opérations déterminantes. *ITGC*, El Harrach, Alger, 15 p.
- Aïter M., Daoudi A., Abdellaoui A. et Dris F. 1999.** Intégration de données multi sources dans un SIG pour l'étude de la dégradation du milieu : cas de la zone de Beni Slimane (Médéa, Algérie). Sém., Inter., SIG., C.N.I.G., Alger, 5 p.
- Alberthus S.K. et Helmut W. 1997.** Une nouvelle perspective pour la Namibie: l'exploitation durable des terres dans les zones arides et semi-arides. FAO., 31- 38.
- Ali A. 2004.** Modélisation de l'invariance d'échelle des champs de pluie sahéliens. Application aux algorithmes d'estimation et aux études de variabilité climatique, thèse, LTHE, 130 p.
- Al-Khatib K. and Paulsen G.M. 1990.** Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat genotypes from major world regions. *Crop Sci.* 30: 1127-1132.
- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F. et Thomas A. 2006.** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture a un risque accru de manque d'eau. Synthèse du rapport d'expertise, INRA (France), 72 p.
- Amokrane A. 2001.** Evaluation et utilisation de trois sources de germoplasmes de blé dur (*Triticum durum* desf.). these Magist. Inst. Agro. Uni. *Batna*, 80 p.
- Amphoux M., Jaouen G., L'Hopital A. et Pelletier V. 2003.** Les impacts du changement climatique sur l'agriculture en Europe et aux Etat Unis. Atelier Changement Climatique ENPC-Département VET. Année universitaire 2002-2003. 25 p.

- Amrani N. 1991.** Les céréales d'hiver. Contribution à une approche de la fertilité azotée par la méthode des bilans. *Rev. Céréale, ITGC*, n° 24, 4-8.
- Ancey C., Meunier M. et Charlier C. 1999.** Utilisation d'outils statistiques dans la détermination des scénarios de l'avalanche de référence et l'aide à la décision, 31 p.
- ANRH. 1993.** Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord. Echelle 1/500000. Projet, PNUD/ALG/. 88/021, 49 p.
- APE. 2010.** Agriculture et alimentation. 1 p. [www. Googletraduire /translate.htm](http://www.Googletraduire/translate.htm)
- APIA. 2007.** Réussir une campagne de blé en Tunisie. *L'Investisseur Agricole* n°69, 6 p. www.investir-en-tunisie.net/news/article.php
- Assabah A. 1994.** Programme de développement de semences en Algérie. *Rev. Céréale, ITGC.*, n° 27, 28-29.
- Badia J. 1970.** Les statistiques. *Stat., Biométrie, C.N.R.F, INA, Alger*, 60 p.
- Balaghi R. et Dahan R. 2009.** Impact des changements climatiques sur l'agriculture et la pêche. Potentialités d'adaptation et d'atténuation au Maroc. *Poster2.pdf, version 1*, 19 p.
- Balaghi R. et Jlibene M. 2010.** Approche informationnelle du risque de sécheresse. Système d'aide à la décision agricole. *Aridoculture Saada*. 10 p.
- Baldy Ch. 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques. Leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. *Rapport, ITGC*, 72 p.
- Balloffet E. 2009.** Spatial description Sahel geo-referenced data SNAPSHOT. *Security Implications of Climate Change in the Sahel Region (SICCS)*. OECD, 23 p.
- Beaumont M. 1949.** Le blé. Ed. *Que sais-je*, n°22 109, *Paris*, 127 p.
- Belhassen E., This D. et Monneveux P. 1995.** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agricultures*, n° 4 ,251 - 61.
- Ben Naceur M., Gharbi M.S. et Paul R. 1999.** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*; 10: 27-33
- Bencharif A., Chaulet C., Chehat F., Kaci M. et Sahli Z. 1996.** *La filière blé en Algérie. Le blé, la semoule et le pain. Paris : Karthala ; 223 p.*
- Benchetrit M. 1956.** Les sols d'Algérie. *Persée. Revue de géographie alpine*, vol. 44, n°4, 749-761. <http://www.persee.fr>
- Bendif N. 1994.** La situation actuelle des maladies des céréales en Algérie. *Rev., Céréale.*, n°27, 8-12.
- Benlaribi M. 1990.** Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur. Etude de caractères morphologiques et physiologiques. Thèse. *Doct., Inst., Sci., Nat., Uni., Constantine.*, 164 p.

- Bensalem N. 2010.** *L'Algérie, premier importateur Africain de denrées alimentaires.* 3 p. www.portail.de.la.presse.algerienne.
- Benzarti Z. et Habaieb H. 2001.** Etude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909-1996). *Rev. Seh.* Vol 12, n°4, 215-220, Notes méthodologique.
- Bergaoui Z. 1983.** Contribution à l'étude statistique de la pluie dans la région de Tunis. Thèse présentée à l'Institut national polytechnique de Toulouse en vue de l'obtention du diplôme de Docteur-Ingénieur, 134 p.
- Berthault P. 1930.** Statistique de la production des céréales en Algérie. *Bulletin de l'Afrique française.* 25 p.
- Bindi M. et Moriondo M. 2005.** Impact of a 2°C global temperature rise on the Mediterranean region: Agriculture analysis assessment. (In : C. Giannakopoulos, M. Bindi, M. Moriondo, P. Le Sager. T. Tin, Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise, 54-66.
- Bizzarri G. 2010.** Gérer les risques dans l'utilisation de l'eau en agriculture. Archive de documents de la FAO/19680. 5 p.
- Blanc A. 1929.** Espèces et variétés de céréales cultivées en Algérie. Ing. Agri. Direct. Asso. Agri., SBA., Oran, 30 p.
- Blum A., Ramaiah S. Kanemasu E.T. et Paulsen G.M. 1990.** Recovery of wheat from drought stress at the tillering developmental stage. *Field Crop Res.* 24, 67-85.
- Bois B. 2007.** Cartographie agroclimatique à mésoéchelle/ méthodologie et application à la variabilité spatiale du climat en Gironde Viticole. Thèse, Doct., uni. Bordeaux 2, 210 p.
- Bonjean A. 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21. 29-37. *Limagrain China Ltd, Pékin (République populaire de Chine).*
- Bouaziz A. 2007.** Perspective Agronomique de la Céréaliculture au Maroc, 12 p. www.ressources.ciheam.org/om/pdf/s11/CI920088.pdf
- Boufenar F. 2001.** Evaluation du programme de multiplication des semences certifiées de céréales. Situation et potentialités d'amélioration. *Rev. Céréale.* n°36, 4-12.
- Boufenar Z.F. et Zeghouane O. 2006.** Guide des principales variétés de céréales à pailles en Algérie (*Blé dur, blé tendre, orge et avoine*). Ed. ITGC, 154 p.
- Boulal H., Zaghouane O., El Mourid M. et Rezgui S. 2007.** Guide de la conduite des céréales d'automne (Blés et orge) dans le Maghreb (*Algérie, maroc, Tunisie*). ITGC, Alger, INRA, Algérie, ICARDA, 176 p.

- Boulet G., Chehbouni A., Braud I., Vauclin M., Haverkamp R. et Zammit C. 2000.** A simple water and energy balance model designed for regionalization and remote sensing data utilization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 105, 117-132.
- Bouzerzour A., Adjabi A., Benmahammed A., Hadj sahraoui A. et Harkati N. 2002.** Productivité et adaptation comparées des variétés de céréales en zones semi-arides d'altitude. *Rev. Céréale*, n°37, ITGC, 4-37.
- Bouzerzour H., Benmahammed A., Benkharbache N. et Hassous K.L. 2002a.** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge dans l'étage bioclimatique semi-aride d'altitude. *Rev. INRA*, Algérie, n°10, 45-58.
- Box G. et Jenkins G. 1976.** Time series analysis: forecasting and control, Holden Day, MR 436499
- Brancucci G., Pulina M.A et Semprevivo M. 1998.** Comparaison entre différentes méthodologies pour l'estimation des données pluviométriques manquantes. AINC., INS. Géog., France, 233-240.
- Brisson N. et Delecoller R. 1992.** Développement et modèles de simulation des cultures. *Agronomie*, 12(3), 253-263.
- Brisson N. et Seguin B. 1991.** Un modèle de bilan hydrique agrométéorologique adapté aux modèles de simulation de culture. *Soil Water Balance in the Sudano Sahelian Tjone*. Proceedings of the Niamey Workshop, February, IAHS Publ. n°199, 459-469.
- Camberlin P., Thierry C., Fontaine B., Nathalie Ph., Benjamin P., Yves R., Pascal R. 2010.** Réponse aux changements globaux. INEE CNRS - Colloque de Prospective. Atelier, 5 P.
- Chadouli A. 1997.** Irrigation des céréales : situation et perspectives. *Rev. Céréale*, n°30, ITGC, 5-8.
- Chaise L., Ferla J., Honore A. et Moukhli R. 2005.** L'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique. Atelier Changement Climatique. Projet réalisé au sein d'ENPC 6 et 8 Boulevard Blaise Pascal 77420 Champs sur Marne. Tuteur : Quirion P. *Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*, 48 p.
- Chaouch A. et Parent E. 1999.** Interférence et validation bayésiennes d'un modèle de pluie journalière en régime de mousson. *Journal des Sciences Hydrologies*, 44(2), 199-220.
- Chaumont M. et Paquin C. 1972.** Notice explicative des cartes pluviométriques annuelles minimales fréquentielles en Algérie septentrionale au 1/1000000. SHNAN., Edit., Bounaga, 27 p.

- Choisnel E. 1984.** Notions d'échelle en climatologie. *La météorologie*, 7, n°4, 44-52.
- Choisnel E. et Seguin B. 1986.** Agrométéorologie des régions de montagnes. Problèmes d'échelle et réseaux météorologiques en zone de moyenne montagne. Coll., INRA., publ., n°39, Paris, 37-49.
- Choisnel M. 1997.** Agrométéorologie. Article, Encyclopédie, Universalis France S.A. p 12.
- CNIS. 1969/2008.** *Bulletins de statistiques économiques*. 300 p.
- CNUCED. 2007.** *Blé, culture, rendement*. Données statistiques de l'ONU (FAO), 7 p. <http://uncetad.org./infocomm/francais/ble/culture.htm>
- Cochemé J. et Franquin P. 1968.** Etude agroclimatologique dans une zone semi-aride en Afrique au Sud du Sahara. OMM, n° 240. TP. 110, 140 p.
- CRET. 1993.** L'eau et l'aménagement dans l'Afrique des grands lacs. Coll. Bujumbura. Collection 'Pays Enclaves', n°5, 14-18 Mai, 1991. Ed. CRET. 905081, *Centre de Recherche sur les Espaces Tropicaux*, 136 p. www.culturesfrance.com/adpf-publi/folio/mondes.../02.pdf
- Crowe P.R. 1971.** Concepts in climatology. *London, UK: Longman*, 135 p.
- Dagnelie P. 1973.** Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Ed., P.A.G., Vol., 1, 365 p.
- Davey E.G., Mattei F. et Soloman S.I. 1976.** En evaluation of climate and water resources for the development of agriculture in tne Sudano-sahelian zone of West Africa. Geneva: Wold Meteorological Organization, 9 p.
- Davies D.A. 1963.** Guide des pratiques de météorologie agricole. OMM, Suisse, 21 p.
- De Parcevaux S. et Huber L. 2007.** Bioclimatologie. Concepts et applications. Ed. Quae, 336 p.
- Dechemi N., Ait Mouhoub D. et Souag D. 2000.** Contribution à l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien. *Rev. Seh.* Vol 11, n°1, 510, Notes méthodologique, 5 p.
- Demmak A. 1982.** Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie. Septentrionale. *Thèse de docteur ingénieur*. Université Pierre et Marie Curie, Paris, 120 p.
- Desmaisons H. 1935.** Blés et Céréales Préhistoriques. In: Bulletin de la Société préhistorique française. 1935, tome 32, N. 6. pp. 336-343. <http://www.persee.fr>
- Desrosières A. 1995.** Classifier et mesurer : les deux faces de l'argument statistique. In: Réseaux, volume 13 n°71, 11-29. <http://www.persee.fr>
- Doorembos J. et Pruitt W.O. 1986.** Les besoins en eau des cultures. *Bulletin d'irrigation et de drainage*, n° 24, FAO, 196 p.
- DRE. 2009.** L'atténuation des effets de la sécheresse en Afrique sur la vie économique. Sécheresse. 1 p. <http://www.nord-pas-de-calais.ecologie.gouv.fr>

- Droesbeke J.J. 1997.** Eléments de statiques. Statistiques et mathématiques appliquées. Ed. uni. Bruxelles, 550 p.
- Dubois D. 2005.** Une introduction à la méthodologie de Box-Jenkins par l'utilisation de modèles Arima avec spss. *Rev. Modular*, n°34, 13-36. www.rocq.inria.fr/axis/modulard.pdf.
- Dulcire M. 1977.** La céréaliculture en algérie. Cours polycopie, tome 1, INA, El harrach, 74 p.
- Durand D.F., 1997.** La climatologie. Encyclopædia Universalis France, 10 p.
- Ekopedia. 2010.** Culture de blé. 6 p. www.ekopedia.htm
- El Hassani T.A. 2008.** Eau, zones humides et changements climatiques. Préparation à la sécheresse et gestion des risques dans la région méditerranéenne. *Document de travail sécheresse. College of agriculture and natural ressources*. Inst. Agro. Vet. Hassan, Rabat. 3 p. www.doc.abhatoo.net.ma/DOC/IMG/pdf/Drought.pdf
- Emberger L. 1942.** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. *Bull Soc Hist Nat Toulouse*, 77, 97-124.
- Emberger L. 1955.** Une classification biogéographique des climats. Trav., st., Bot., Montpellier, 3-43.
- ENRICH. 2001.** Harmonisation of climate prediction for mitigation of global change impact in Sudano-Sahelian West Africa Climag-west Africa a network for: EESD-ENV-99/ ENRICH (European Network for Research on Global Change), Deliverable n°11, 22 p.
- Esslinger O. 2009.** Le réchauffement climatique. 3 p. www.astronomes.com
- Euverte G. 1959.** Les climats et l'agriculture. Ed. Que sais-je, n°824, Uni., France, 122 p.
- FAO. 1997.** Production. Ann., vol. 51, 239 p.
- FAO. 2000.** Length of growing period. 1 p. www.ergodd.zoo.ox.ac.uk/LIVATL2/lgp.htm
- FAO. 2004.** *Agriculture mondiale. Horizons 2015-2030*, 97 p.
- FAO. 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. Première édition, publiée par la FAO, Rome, 65 p. www.fao.org/documents/show-cdr.asp
- FAO. 2005a.** L'irrigation en Afrique en chiffres. Algérie. Enquête AQUASTAT, 11 p.
- FAO. 2008.** Système d'information cartographique. Algérie. Secteur agricole, 2 p. www.fao.org/countryProfiles/index.asp?lang=fr1iso3=DZA1subj4
- FAO. 2010.** la chine pourra compter sur ses propres forces pour subvenir à ses besoins en céréales. Archive de documents de la FAO. 3 p. french.china.org.cn/fa-book/56.htm
- FAOSTAT. 2007.** *Statistiques de production mondiale du blé, du seigle et du triticale*. Version révisée, 18 p. www.mapageweb.umontreal.ca/bruneaua/simon/chapitre05_ble.pdf
- FAQ. 2004.** Diagnostiques climatiques. Projet GICC/INFREX/htm. 3 p.

- Fischer G., Shah M. et Velthuizen H.V. 2002.** Climate Change and Agricultural Vulnerability. A special report, prepared by the International Institute for Applied Systems Analysis under United Nations Institutional Contract Agreement n°1113, as a contribution to the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg. Prepared by the IIASA Publications Department Cover design by Anka James Printed by Remaprint, Vienna. 160 p.
- Fischer R.A et Maurer R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivar. Grain yield responses. *Aus J. Agr. Res* 29: 897-912.
- Fukui H. 1993.** Food and Population in a Northeast Thai village. Monograph of the Center of Southeast Asian Studies, Kyoto University. N°19. Honolulu, Haw. (USA) : University of Hawaiï. Press. 421 p
- Galloy E., Martin S., Lebreton A. 1982.** Analyse des séquences de jours secs consécutifs. Application a 31 postes du réseau météorologique français. *La météorologie*, VIe série n° 28, 5-24.
- Gandin L.S. 1965.** Objective analysis of meteorological fields. Israel Program of Scientific Translations, n°1373, 242 p. *In* Gratton (2002).
- Gate P. 1995.** Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture. In: *Techniques et Documentation*, Paris, 429 p.
- Geslin H. 1944.** Contribution à l'étude du climat du blé. Etude de lois de croissance d'une plante en fonction des facteurs du climat (température et radiation solaire). *Doct. Es-Sci., Stat. Biocl. CRAV.*, Paris, 116 p.
- Gibbs W.J. et Maher J.V. 1967.** Rainfall deciles as drought indicators. *Bulletin n°48; Australia: commonwealth Bureau of meteorology.*
- GIEC. 1997.** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Evaluation de la vulnérabilité. Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 27 p. www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/region-fr.pdf
- GIEC. 2007.** Contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental sur les changements climatiques [Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, Paul J., et Hanson, Clair E. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume Uni, 1000 p.
- Glantz M. 1987.** Drought and hunger in Africa: denying famine a future. New York, USA. Ed. *Cambridge University Press*. 457 p.
- Gommes R. et Hoefsloot P. 2006.** Exemples d'indicateurs fondés sur d'autres conditions météo FAO. Archive de documents FAO. www.lenght-growing.translate.google.com

- Gratton Y. 2002.** Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation. *INRS, Eau Terre Environnement*, Canada, 123 p. www.iag.asso.fr
- Green D.J. et Read D.W.L. 1983.** Water use efficiency of corn, sunflower and wheat with limiting soil moisture. *Can J Plant Sci*, 63, 747-9.
- Gregory S., Master C.M., Wilhem W.W., Palic D.B., Porter J.R. and Jamieson P.D. 2003.** Spring Wheat Leaf Appearance and temperature / Extending the Paradim ? *Annals Of Botany*, vol. 91, n°6, 697-705.
- Grouzis M. et Albergel J. 1998.** Environnement et productions agricoles ; cas du Burkina Faso. IFRSDC, *ORSTOM*, BP. 1386 Dakar Sénégal, 13 p.
- Guiot J. 1984.** Mise au point d'une méthode d'analyse multi variable de séries chronologiques dans un but de reconstitution dendroclimatique concernant les Alpes du Sud. *Statistique et Analyse de données*, 35-39.
- Hadj Sahraoui A. et Bouzerzour. H 2001.** Contribution à l'étude du seuil de nuisibilité de la folle avoine (*Avena sterilis* L.) et du stade d'intervention dans une culture de blé dur (*Triticum Durum* desf.), variété Mohamed Ben Bachir. *Rev. Céréale*, n°36, ITGC, Alger, 27-31.
- Hamadache A. 1989.** Contribution à l'étude de la période de compétition maximale des mauvaises herbes vis-à-vis du blé dur waha en zones sub-humide. *Rev. Céréale*, ITGC, n°20, 10-14.
- Hamadache A. 1995.** Les mauvaises herbes des grandes cultures (*Biologie, Ecologie, moyen de lutte*). ITGC, EL Harrach, Alger, 40 p.
- Hamadache A. et Aknine M. 2001.** Effet du mode de semis, de la fertilisation et du désherbage chimique sur le rendement du blé dur cv. Waha en zone sub-humide. *Rev. Céréale*, ITGC, n°36, 32-36.
- Heathcote R.L. 1973.** Drought perception. The Environmental, economic and social significance of drought (Lovett, J.V., ed.), Sidney, Australia: Augus and Robertson, 17-40.
- Hervieu B., Capone R. et Abis S. 2006.** L'enjeu céréalier en Méditerranée. Les notes d'analyse du CIHEAM, n°9, 14 p. Portail2.reseau-concept.net/Upload/ciheam/.../NAN09.pdf
- Hills R.C. et Morgan J.H.T. 1981.** Rainfall statistic: an interactive approach to analysing rainfall records for agricultural purposes. *Expermental agriculture* 17, 1-16.
- Hioun S., Dekak A. et Khamar L. 2002.** Effets des dates de semis et de traitements hydriques sur 12 variétés de blé dur en zones semi-arides. *Rev. Céréale.*, n°37, ITGC, 17-23.
- Hoff C. et Rambal S. 2007.** Impacts potentiels du changement climatique en france au XXIe siècle. Par CEFÉ/CNRS Route de Mende. 34033 Montpellier Cedex, 13 p.

- Hucl P. et Baker R.J. 1989.** Tilling patterns of spring wheat genotypes grown in a semi-arid environment. *Can J Plant Sci* ; 69, 71-9.
- Hufty A. 2001.** Introduction à la climatologie. Boock Université. Bruxelles, 542 p.
- Hurd E.D. 1974.** Phenotype and drought resistance in wheat. *Agri. Meteorology*, n°14: 39-55
- ICARDA. 2000.** Agroecological characterization for agricultural research, crop management and development planning, 3 p. [www. ICARDA Annual Report 2000.htm](http://www.ICARDAAnnualReport2000.htm)
- Idso S. B., Reginato R.J., Jackson R. D. et Pinter J.P.J. 1981.** Foliage and air temperatures: Evidence for a dynamic "equivalence point". *Agricultural Meteorology*, Vol. 24, 223-226.
- Isnard H. 1954.** Quelques explications sur la division régionale de l'Algérie. *Persée Revue de géographie de Lyon*, Vol., 29 n°4, 354-361. <http://www.persee.fr>
- Isoz V. 2010.** Probabilités. *Ed. Science .Ch. 2-19* . www.sciences.ch/htmlfr/arithmetique
- ISP. 2010.** Importance de la culture des céréales. *Information suisse sur le pain*. 4 p. www.painsuisse.ch/du-ble/culture-des-cereales.html?
- ITGC. 1995.** Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie. *Caractérisation variétale*. ITGC., 115 p.
- Koteswaram P. 1974.** Climat et météorologie. Ed., ISBN. UNESCO., Paris, 29-52.
- Kouressy M., Vaksmann M., Traoré S.B., Traoré P.S. et Dingkuhn M. 2005.** Le photopériodisme des sorghos africains, une réponse à la variabilité pluviométrique. *Ist Inter. Confer.: African Monsoon Multidisciplinary Analyses*, s.l.: s.n., In: AMMA-CIRAD, Ed. *Monitoring and forecasting the African monsoon impacts on agriculture and vegetation (AMMA), Dakar, 557-559.*
- Krige D.G. 1950.** A Statistical Approach to some mine valuation and allied problems on the Wit waters rand. *Master Thesis, University of Witwatersrand.*
- Lacaze X. 2006.** Développer des plantes résistantes à la sécheresse. Exemple des recherches sur les céréales menées à l'Institut de L'évolution. Ambassade France en Israël. Service de coopération et d'action culturelle 16 p.
- Lakhdari H et Ayad A. 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 ? 5^{ème} colloque international : *Énergie, Changements Climatiques et Développement Durable, Hammamet (Tunisie)*, 15 p. www.ps2d.net/media/Hakima%20Lakhdari.pdf
- Laouina A., Coelho C., Ritsema C., Chaker M., Nafaa R., Finjiro I. et al. 2004.** Dynamique de l'eau et gestion des terres dans le contexte du changement global, dans le bassin du Bouregreg (Maroc). *Séch.*, Vol. 15 n° 1, 65-77.

- Latiri K. 2006.** Conditions climatiques, production et fertilisation. 3 p.
www.ressources.ciheam.org
- Laumont P. 1959.** L'évolution de la céréaliculture en Algérie. Où est-elle ? où va t-elle. ENA, Alger, 12 p.
- Le Corre G. 1998.** Outil d'analyse par Krigeage. Atelier SIG COPEMED, Malaga; IFREMER- Sète. 5 p. www.faocopemed.org/vldocs/0000028/publi15.pdf
- Le Houérou H.N. 1992.** Vegetation and land-use in the Mediterranean basin by the year 2050 : A prospective study, (In: L. Jeftic, J.D Milliman, G. Sestini (eds), *Climatic Change and the Mediterranean* Vol. 1, 175-232
- Le Houérou H.N. 2005.** Problèmes et potentialités des terres arides de l'Afrique du Nord. *Options Méditerranéennes 1975*; 28, 17-36. <http://ressources.cihem.org/om/pdf>.
- Léonard A. A. 2001.** Chaînes de Markov Cachées. Essai présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de maître ès sciences. Départ. Math. Stat. Fac. Sci. Geni. Uni. Laval *Quebec*, 45 p.
- Luquet D., Vidal A., Dauzat J., Begue A., Oliosio A. et Clouvel P. 2004.** Using directional tire measurements and 3d simulations to assess the limitations and opportunities of water stress indices. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 90, n°. 1, 53-62
- Machet J.C. 1983.** Fertilité azotée. *Rev. Cultivar, spéciales céréales d'hiver*, 58-60.
- Maggie L. 2000.** *Le blé dur en Afrique du Nord.* Agriculture et Agro- alimentation, Canada (AAC). Pub. Division analyse du marché, *Bulletin bimensuel*, vol. 13(11), 4 p. <http://www.agr.ca/policy/win/biweekly/index.htm>
- Makhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N. 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. Vol 17, n°4, 07-13
- Makhlouf M., Hamadache A. et Harkati N. 2002.** Effets de la date et de l'outil de travail du sol sur le comportement des bromes (*Bromus* sp.) et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région de sétif. *Rev. Céréale., ITGC*, n°37, 24-29.
- MAPA. 2007.** Système de surveillance et d'alerte de l'évolution annuelle des cultures et profits. *Ministère de l'Agriculture, de la pêche et de l'Alimentation.* www.Cartographie et SIG - M_A_P_A.htm, Accueil | ENESA | FROM | FEGA | AAO | Suggestions et questions les plus fréquentes. Magasin virtuel des publications. 1 p.
- Marand C. et Zumstein J.F. 1990.** La modélisation des précipitations moyennes annuelles appliquée au Massif Vosgien. *Hyh. Cordnont, ial.* 5, n°1, 29-39.

- Marçais B., Bouhot-Delduc L. et Le Tacon F. 2000.** Effets possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts. *Rev. For. Fr.* LII - numéro spécial. 99-118.
- Matheron G. 1962.** Traité de Géostatistique appliquée. *Mémoires BRGM. Ed. Tech, Paris.*
- Matin M.A., Jarvis V.B et Ferguson H. 1989.** Laef water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy*, 81, 100-105.
- Meddi H et Meddi M. 2009.** Etude de la persistance de la sécheresse au niveau de sept plaines algériennes par utilisation des chaînes de Markov (19302003). *Rev. Courrier du savoir* n°9, 39-48
- Mekliche A. 1976.** Etude de la production de blé tendre avec complément d'irrigation. Thèse, INA, El Harrach, 90 p.
- MEMRM. 2010.** Système de surveillance et d'alerte de l'évolution annuelle des cultures et profits. Ministère de l'Environnement et du milieu rural. *PNUD, OMM.* <https://www.mapa.es/fr/sig/pags/.../index.htm>. 4p.
- MétéoMédia. 2010.** Question de savoir: *Degré-jours*. 2 p.
www.meteomedia.com/glossay/degrejour
- Metge G. 1986.** Etude des écosystèmes hydromorphes (daya et merdja) de la meseta occidentale marocaine. Thèse. Doct., Es-Sci., Uni. Aix, Marseille, 280 p.
- Meylan P. 1986.** Régionalisation de données entachées d'erreurs de mesure par krigeage. Application à la pluviométrie. *Inst. GR, Hyd. Aménag. EPF.*, Lausanne (Suisse). hydro., continent., vol. I n°1, 25-34.
- Meynard J.M. et Sebilotte M. 1994.** L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à talles. INA.PG, Chaire d'agro., lab.,INRA, Paris, 31-51.
- Morgan J.M. et Gordan A.G. 1986.** Water use, grain yield and osmoregulation in wheat. *Aust J Plant Physiol*; 13: 523-32
- Moron V. 1996.** Régionalisation et évolution des précipitations tropicales annuelles (1946-1992). *Cah., Sech.*, vol. 7, n°1, 25-32.
- Mosbah L. 2009.** Vulnérabilité de la céréaliculture tunisienne face aux changements climatiques. *Energy, Climate Change and sustainable development. International Conference Hammamet (Tunisie), june 15-17, 2009. Uni. Tunis El Mamar, fac. Econo. Manag.*, 18 p.
- Mosiniak M., Prat R. et Roland J.C. 2006.** Du Blé au pain. *Biologie. Université Pierre et Marie Curie - UFR de Biologie*. 4 P.

- Moule C. 1980.** Céréales. Bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France. Phyt., Spec., édit., maison rustique, 318 p.
- Nachit M.M., Picard E., Monneveux P., Labhilili M., Baum M. et Rivoal R. 1998.** Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. Cahiers Agric., 7, 510-515.
- Nait Dahmane T. 1987.** "Pertes sur champs". Rev. Céréale ITGC, n°17, 7-14.
- Naylor T.H. et Seaks T.G. 1972.** Box-Jenkins Methods: An Alternative to Econometric Models. DW Wichern. *International Statistical Review*, JSTOR, 3 p.
- Nicholson S.E. 1981.** The Historical climatology of Africa; in Climate and History (T.A.L. Wigley, M.J. Ingram and G. Farmer, Eds) *Cambridge University Press*, 249-270.
- Nicholson S.E. 1983.** Sub-sahara rainfall in the years 1976-1980: evidence of continued drought. *Monthly Weather Rev*; 3, 46-54.
- Nicholson S.E., Kim et Hoopingarner J. 1988.** Variability of African annual interannual rainfall. Dept., Mateo., Tallahassee, Florida, USA, 237 p.
- Ntombi M. 1982.** La date du début de la saison des pluies à Lubumbashi. *Shaba, Zaire. Geo. Eco. Trop.*, 6 (3), 183-190.
- Ogilvie K. 2004.** Abécédaire des Changements climatiques et de la santé humaine. 92 p. [www.pollutionprobe.org/.../climatechangeprimer\(fr\).pdf](http://www.pollutionprobe.org/.../climatechangeprimer(fr).pdf)
- Oke T.R. 1978.** Boundary layer climates. Methuen, London, 372 p.
- OMM. 2006.** Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs. L'information météorologique et climatologique au profit d'un développement agricole durable. OMM, n°1006, 24 p. www.wmo.int/web/wcp/agm/agmp.html
- ONS. 2008.** Evolution des échanges extérieurs de marchandises de 1992 à 2008. Coll., Stat., Série : Stat., Eco., n° 110, 120 p.
- Oudina M. 1986.** Céréaliculture. Le choix variétal. Rev. Céréale ITGC, n°4, 10-19.
- Oudina M., Bouzerzour H. et Briffaux S. 1988.** L'irrigation d'appoint des céréales. Rev, Céréale, ITGC, n° 18, 1-6.
- Papy F. 1979.** Analyse du comportement des cultures de blé dur et de l'orge dans différentes régions céréalières du Maroc à travers leur réaction aux variations interannuelles des régimes pluviométriques. *Compte-rendu, Acad., Agri.*, n° 3, France, 231-247.
- Passioura J.B. 1994.** The yield of crops in relation to drought. In : Boote KJ, et al., eds. Physiology and Determination of Crop Yield. Madison, WI, USA: Crop Science Society of America, 343-59.

- Patel N.R., Mehta A.N. et Shekh A.M. 2001.** Canopy temperature and water stress quantification in rainfed pigeonpea (*cajanus cajan* (l) millsp). *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 109, n° 3, 223-232
- Penuelas J., Save R., Marfa O. et Serrano L. 1992.** Remotely measured canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and very mild water stress condition. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 58, n°1-2, 63-77.
- Perpillou M. 1954.** Géographie des céréales. Prof. à la faculté des lettres de Paris, les cours de Sorbonne, 278 p.
- Pionnier H. 1937.** La culture du blé sur les hauts plateaux algériens. Ses conditions climatologiques, agronomiques et écologiques. *Thèse Ing-Doct., Uni., Alger*, 184 p.
- Prats J. et Clément G.C.M. 1971.** Les céréales. Paris, France, 113 p.
- Rasmusson E.M. 1987.** Global climatic change and variability: effets of drought and desertification in Africa. *Ed. Cambridge Université. Press. USA.*, 3-22
- RGA. 2001.** Rapport général RGA., *Minist., Agri., CD-Room.*
- RGA. 2003.** Rapport ggénéral RGA. *Ministère de l'Agriculture*, 22 p.
- Rosensweig C. et Tubiello F.N. 1997.** Impacts of global climate change on Mediterranean: current methodologies and future directions, Mitigation, adaptation and Strategies for Global Climate Change, 1, 219- 232.
- Rousset N. et Arrus R. 2006.** L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques ? Conf. Inter. *Watmed 3 sur les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Tripoli (Liban)*. 10 p.
- Sayoud R. 1987.** Les maladies des céréales. *Rev. Céréale ITGC.*, n°17, 20-21
- Seltzer P. 1949.** Le climat de l'Algérie. *Alger*, 219 p.
- Sim M. 2004.** Possible changes in Length of Growing Period (LGP) under climate change (reference weather surfaces). *Science with a human face*, ICRISAT, 17 p. www.itc.gm/Downloads/BanjulIntConfLivestockWCA.pdf
- Sims D. 1997.** Gestion des terroirs : l'approche de la FAO. FAO., Rome, 21-26.
- Sircoulon J. 1988.** Sécheresse du point de vue climatique, hydrologique et agronomique. Laboratoire d'hydrologie, *ORSTOM*, 65-68. [www.horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins .../30588.pdf](http://www.horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins.../30588.pdf)
- Sivakumar M.V.K. 1991.** Durée et fréquence des périodes sèches en Afrique de l'Ouest. *ICRISAT. Bull. inf.* n°13, 181 p.
- Sivakumar M.V.K., Maidoukia A., Stern R.D. 1993.** Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : Le Niger. 2^{ème} édit. *ICRISAT. Bull. inf.* n°5, *DMN. Niger*, 107 p.

Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. et Zid B. 2005. Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*; 16 (3) : 225-9.

Smadhi D. 2002. Etude agroclimatique des grandes cultures pluviales en régions semi-arides. Cas des hauts plateaux telliens de l'Est d'Algérie. Thèse magist., *INA, Alger*, 113 p.

Smadhi D., Mouhouche B., Mohamedou M. et Semiani M. 2002. Bilan hydrique et besoins d'irrigation de la céréaliculture en région semi-aride. *Revue HTE.*, n° 124, 53-56.

Smadhi D. et Zella L. 2009. Céréaliculture en sec et précipitations annuelle : le cas du Nord de l'Algérie. *Rev. Sech. vol 20, n°2*, 199-203

Soltner D. 1990. Les grandes cultures. Col. Sci. Tech. Agri. Ed. n°17, *Paris*, 464 p.

Sprent P. 1992. Pratique des statistiques non paramétriques. Ed. INRA, *Paris*, 294 p.

Stark J.C. et Longley T.S. 1986. Changes in spring wheat till ring patterns in response to delayed irrigation. *Agron J*, 78, 892-6.

Stern R.D. 1982. Computing a probability distribution for the start of the rains from a Markov chain model for precipitation. *J. Appl. Meteorol.* 21(3), 420-423.

Stern R.D., Dennett M.D. et Dale I.C. 1982. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. II. A modelling approach. *Exp. Agr.*, 18: 137-1 53

Tabet-Aoul M. 2008. Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb. *Les notes du CIHEAM*, n°48. 6 p.

Thabet C. et Thabet B. 2005. Modélisation de variables aléatoires : Cas de la pluviométrie. *CIHEAM. Option Méditerranéenne*, 135-150. www.ressources.ciheam.org/om/pdf/c09.

Thom H.C.S. 1972. Quelques méthodes de l'analyse climatologique. *OMM*, n°199, *Note Tech.*, n°81, 59 p.

Thornton P.K., Jones P.G., Owiyo T., Kruska R.L., Herrero M., Kristjanson P., Notenbaert A., Bekele N. and Omolo A., with contributions from Orindi V., Otiende B., Ochieng A., Bhadwal S., Anantram K., Nair S., Kumar V. et Kulkar U. 2006. Mapping climate vulnerability and poverty in Africa. Report to the Department for International Development, ILRI, PO Box 30709, Nairobi 00100, Kenya, 171 p.

Touati A. 1985. Etude de la production de blé tendre avec complément d'irrigation dans le haut Chélif. Thèse, INA, El Harrach, 110 p.

Transrural. 2003. Changement climatique et agriculture. Dossier Transrural Initiatives, n°234, 8 p.

Tveito O.E. 2007. The developments in Spatialization of Meteorological and Climatological Elements. In: H. Dobesch, P. Dumolard and I. Dyras (Editors), *Spatial Interpolation for Climate Data. The Use of GIS in Climatology and Meteorology*. ISTE, London, 73-86.

- Van Vyve N. 2006.** Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la pluie au Fakara, Niger. Mem. *bio-ingénieur. Uni. Cath. Louvain. Fac. d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale*, 75 p.
- Wardlaw I.F. 2002.** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Ann. Bot.*, 90, 469-476.
- Watts D. et El Mourid M. 1988.** Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. USAID Project n°608-0136. Settat : Aridoculture Center INRA.
- Weber A. et Reichrath S. 1986.** Le niveau et l'accélération des rendements céréaliers dans le monde. Géographie, développement et perspectives. In: *Économie rurale*, n°174. L'agriculture dans la compétition internationale. 2^{ème} Partie, 59-67. <http://www.persee.fr>.
- Wetherell H.L., Holt J. et Richards P. 1979.** Drought in the Sahel: a broader interpretation, with regard to west Africa and Thiopia. *in Proceedings of the Symposium on Drought in Botswana. The Botswana Society*, 131-141
- Willcox G. et Tanno K.I. 2006.** Origines de la domestication du blé. *Science magazine*, 1 p. [www.Archeo.info_Actualité archéologique-home.htm](http://www.Archeo.info_Actualité_archéologique-home.htm).
- Wim S. et Helmut E. 1997.** Les nouveaux concepts et enjeux de la gestion des terroirs. FAO, n° 97, 1-8.
- Yuan G., Luo Y., Sun X. et Tang D. 2004.** Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the north china plain. *Agricultural Water Management*, Vol. 64, n°. 1, 29-40.
- Zair A., Nasr Z., Ben Mechlia N., Achour H. et Oueslati T. 1996.** Réponse à l'eau d'une culture de blé sous des conditions hydriques restrictives. *Annale de l'ENGREF*, 77-89.
- Zair M. 1991.** Contribution à l'étude de l'importance du déficit hydrique sur le développement du blé en zones semi-arides. *Rev., Cereal.*, n° 24, ITGC, 9-19.
- Zair M. 1994.** L'irrigation d'appoint et la fertilisation azotée du blé dur. *Rev., Céréale*, n°27, ITGC, 1-7.
- Zeggaf T.A., Hadarbach D. et Nsarellah N. 2001.** Evaluation de la variabilité spatiale et temporelle des rendements céréaliers en relation avec quelques paramètres climatiques au Maroc. Actes, Sémin., A.M.A.E.C.O., Rabat, 135-144.
- Zekri D., Lehout A., Souilah N. et Alatou D. 2009.** Etude des variations thermiques saisonnière dans les régions semi-arides. Uni. Mentouri Constantine, faculté des sciences de la nature et de la vie, Algérie, 16 p. www.aed.auf.org/IMG/pdf/Programme_20Haddar3_1_.pdf

Zhensheng L. 2007.*Une nouvelle variété à fort rendement. 55-92.*

156www.mathnet.kaist.ac.kr/mathnet/thesis_author.php?author.

Zouaoui A. et Bensaid R. 2007. Détermination des exigences climatiques du blé dur (Triticum durum Desf. var. Mohamed Ben Bachir) en zone semi-aride. Cahiers Agricultures.

Etude originale, Vol 16, n°6, 469-476.