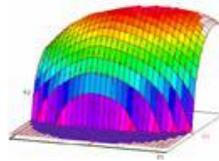


Année Universitaire : 2015/2016



Master Sciences et Techniques CAC Ageq
Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion de la qualité

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**ETUDE QUANTITATIVES ET QUALITATIVES DE
CERTAINES VARIETES DE COLZA PAR DES
METHODES D'ANALYSES MULTIVARIEES**

Présenté et soutenu par:

Zouhair ALOUANE

Encadré par:

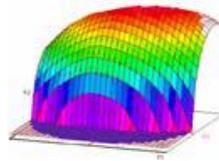
Dr. HAMAL Abdelhamid (I.N.R.A. Meknès)
Pr. EL HADRAMI El Mestafa (F.S.T. Fès)

Soutenu Le 13 Juin 2016 devant le jury composé de:

- **EL HADRAMI El Mestafa**
- **HAMAL Abdelhamid**
- **IHSSANE Bouchaib**
- **MELIANI Abdeslam**

Stage effectué à : Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès.

Année Universitaire : 2015/2016



Master ST CAC Ageq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: Zouhair ALOUANE

Année Universitaire : 2015/2016

Titre: Etude Quantitatives et Qualitatives de Certaines Variétés De Colza Par Des Méthodes d'Analyses Multivariées.

Résumé

Actuellement, toute la demande nationale en huiles végétales est satisfaite à partir de l'importation soit sous forme de produit semi-fini, ou de produit fini. À cette raison qu'il faut s'intéresser dans notre pays à réintroduire la culture oléagineuse pour atteindre l'autosuffisance en huile alimentaire ou au moins diminuer l'importation.

L'objectif de cette étude rentre dans le cadre de relance de la culture du colza dans certaines régions du Maroc. Par le suivie de comportement de cinq variétés de colza, deux variétés obtenues par l'Institut National de Recherche Agronomique et trois variétés étrangères, étudiées sur deux modes de travail du sol pendant deux campagnes agricoles, par la méthode d'analyse de la variance et la méthode d'analyse en composantes principales. En vue d'évaluer leur réaction vis-à-vis des conditions pluviométriques et le mode du travail du sol adopté.

L'ensemble des résultats obtenus, nous permet de conclure que les deux variétés marocaines obtenues par l'INRA ont montré de bonnes performances en qualité technologique de l'huile de colza dans des environnements favorables, et au niveau des essais menés dans les stations expérimentales de l'INRA.

Mots clés : Variété de colza, modes de travail du sol, campagnes agricoles, méthode d'analyse de la variance, méthode d'analyse en composantes principales.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

✂ A mes très chers parents

En reconnaissance de tant de sacrifices consentis pour moi. En témoignage de tant de soins et d'amour déployés pour mon éducation, mon instruction et mon bien-être.

✂ A mes très chers frères

Votre soutien moral émerveillé par votre grande affection m'est d'un précieux atout dont je ne peux me passer.

✂ A toutes ma famille

✂ A mes chers ami(e)s

✂ A tous ce que j'aime et j'estime

Que ce travail soit pour vous le gage de mon profond amour.

Remerciements

*En premier lieu, je remercie **Allah** le tout-puissant de m'avoir aidé durant toute ma vie, sans lui ce manuscrit n'aurait pas pu voir le jour.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à mon encadrant pédagogique **Pr EL HADRAMI EI Mestafa** pour avoir accepté de me diriger et guider dans ce projet, pour son soutien inconditionnel, et avec qui j'ai établi une relation de confiance. Je tiens également à le remercier pour sa grande disponibilité.*

*Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sous sa forme actuelle sans les données de recherches et l'apport de Monsieur **HAMAL Abdelhamid** Docteur Es-Sciences en Malherbologie à l'I.N.R.A Meknès. Je le remercie pour son encadrement, ses conseils fructueux et pour l'intérêt qu'il a toujours porté à ce travail. Sa sympathie, ses encouragements, et ses interventions dans les moments difficiles m'ont permis de réaliser aisément mon travail.*

*Je remercie, aussi le Directeur de l'INRA, **Pr Mohamed Badraoui**, d'avoir accepté ma demande de stage au sein de son honorable établissement.*

Je tiens aussi à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Enfin à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet. Merci

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre 1 : MONOGRAPHIE DU CENTRE REGIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE DE MEKNES.....	2
1-1. Présentation.....	2
1-2. Une mission de recherche ciblée sur le développement agricole.....	2
1-2-1. Orientations de recherche.....	3
1-3. Des compétences scientifiques et techniques pluridisciplinaires.....	3
1-4. Zoned'action.....	3
1-5. Organisation.....	4
Chapitre 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
2-1. Introduction.....	5
2-2. Intérêt agronomique et environnemental de la culture de colza.....	6
2-3. Importance de la culture.....	7
2-3-1. A l'échelle mondiale.....	7
2-3-2. A l'échelle nationale.....	7
2-4. Développement et croissance.....	8
2-4-1. Phase végétative.....	8
2-4-2. Phase reproductrice.....	9
2-4-3. Phase de maturation.....	9
2-5. Exigences écologiques de la culture.....	10
2-5-1. Sol.....	10
2-5-2. Eau.....	10
2-5-3. Nutrition minérale.....	10
2-6. Composition des graines de colza.....	10
2-7. Utilisation des graines de colza.....	11
2-7-1. Alimentation humaine.....	11
2-7-2. Usage industriel.....	12
2-7-3. Alimentation animale.....	12
Chapitre 3 : METHODE D'ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA).....	13
3-1. Introduction.....	13
3-2. Test de signification.....	13
3-3. ANOVA avec trois facteurs.....	13
Chapitre 4 : METHODE D'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP).....	15
4-1. Définition.....	15

4-2. Objectifs de l'ACP	15
4-3. Données d'une ACP	16
4-4. Interprétations géométriques	16
4-4-1. L'espace des individus	17
4-4-2. L'espace des variables	17
4-5. Analyse en composantes principales normée	18
Chapitre 5 : MATERIEL ET METHODES	19
5-1. Site expérimental	19
5-1-1. Localisation de l'essai	19
5-1-2. Caractéristique du milieu	19
5-1-2-1. Terrain	19
5-1-2-2. Climat	19
a- Pluviométrie	19
5-2. Protocole expérimental	20
5-2-1. Description des facteurs étudiés	20
5-2-1-1. Année	20
5-2-1-2. Mode de travail du sol	20
5-2-1-3. Variétés	20
5-2-2. Dispositif expérimental	21
5-3. Observations et mesures	22
5-3-1. Culture de colza	22
5-3-2. Paramètres de Croissance et développements	22
5-3-3. Rendement et ses composantes	22
5-3-4. Efficience d'utilisation d'eau	23
5-3-5. Qualité technologique de l'huile des graines de colza	23
5-4. Analyses statistiques	23
Chapitre 6 : RESULTATS ET DISCUSSION	24
6-1. Application de l'analyse de la variance (ANOVA)	24
6-1-1. Données brutes pour l'application de l'ANOVA	24
6-1-2. L'effet des facteurs sur les variables étudiées	25
6-1-2-1. Paramètres de Croissance et développements	25
a-Hauteur de la plante	25
b-La longueur racinaire	26
c-Le volume racinaire	27
d-La matière racinaire	28
6-1-2-2. Rendement et ses composantes	29
a-Nombre de siliques par plante	29
b-Rendement grain	30

c-Rendement biologique.....	31
d-Indice de récolte.....	32
6-1-2-3. Efficience d'utilisation d'eau.....	33
6-1-2-4. Qualité technologique de l'huile des graines de colza.....	35
a- Teneur en huile.....	35
b-Rendement en huile.....	36
6-1-3. Conclusion.....	37
6-2. APPLICATION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP).....	38
6-2-1. Introduction.....	38
6-2-2. Données brutes pour l'application de l'ACP.....	38
6-2-3. Examen des données.....	39
6-2-3-1. Choix du nombre de dimension à étudier.....	39
6-2-3-2. Variance résiduelle.....	40
6-2-4. Matrice des corrélations.....	40
6-2-5. Choix du nombre de dimension à étudier sans l'individu atypique.....	41
6-2-6. Etude des variables.....	41
6-2-6-1. Coordonnées factorielles des variables.....	41
6-2-6-2. Représentation du nuage des variables.....	42
6-2-7. Etude des individus.....	43
6-2-7-1. Coordonnées factorielles des individus.....	43
6-2-7-2. Projection des individus dans le plan factoriel.....	44
6-2-8. Lien entre les deux études.....	44
6-2-9 Conclusion.....	46
CONCLUSION GENERALE.....	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48

Liste des photos

Photo 1. Siège du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès	2
Photo 2. Carte des zones d'action du centre régional de la recherche agronomique de Meknès.....	3
Photo 3. Champ de colza en plein floraison dans la zone de Meknès (Sbaâ Ayoun, 2015)	5
Photo 4. Graines de colza (INRA Meknès, 2015).	6
Photo 5. Caractéristiques générales de la plante à différents stades (Moule 1982).	9

Liste des figures

Figure 1. Composition des graines de colza.	11
Figure 2. Principe géométrique de l'ACP	16
Figure 3. Nuage des individus (Husson et al, 2009).....	17
Figure 4. Nuage des variables (Husson et al, 2009).	18
Figure 5. Pluviométrie décadaire. Campagnes agricoles 2001-2012 ; 2012-2013.....	20
Figure 6. Schéma du dispositif expérimental.	21
Figure 7. Effet de l'année sur la hauteur de la plante des variétés de colza.	25
Figure 8. Effet de l'année sur la longueur racinaire de la plante des variétés de colza.. ..	26
Figure 9. Effet de l'année sur le volume racinaire des variétés de colza.....	27
Figure 10. Effet de l'année sur le nombre de siliques par plante des variétés de colza.....	29
Figure 11. Effet de l'année sur le rendement grain des variétés de colza.....	30
Figure 12. Effet de l'année sur le rendement biologique des variétés de colza.....	31
Figure 13. Effet de l'année sur l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain et rendement biologique des variétés de colza.....	34
Figure 14. Effet de l'année sur la teneur en huile des variétés de colza.. ..	35
Figure 15. Effet de l'année sur le rendement en huile des variétés de colza.....	36
Figure 16. Graphe Residual X-variance	40
Figure 17. Présentation du nuage des variables dans le plan factoriel (1-2)	42
Figure 18. Projection du nuage des individus dans le plan factoriel (1-2)	44
Figure 19. Représentation des variables et individus dans le plan factoriel (1-2)	45

Liste des tableaux

Tableau 1. Pays les plus producteurs du colza dans le monde (Année 2010).....	7
Tableau 2. Evolution des superficies récoltées, rendement réalisés et productions obtenues de la culture de colza au Maroc.....	8
Tableau 3. Tableau d'analyse de la variance.....	14
Tableau 4. Données brutes	24
Tableau 5. L'analyse de la variance de la hauteur de la plante des variétés de colza.	26
Tableau 6. L'analyse de la variance de la longueur racinaire des variétés de colza	27
Tableau 7. L'analyse de la variance du volume racinaire des variétés de colza.	28
Tableau 8. Effet du mode du travail du sol et de l'année sur la matière racinaire des variétés de colza.....	28
Tableau 9. L'analyse de la variance de la matière racinaire des variétés de colza	29
Tableau 10. L'analyse de la variance du nombre de siliques par plante des variétés de colza.	30
Tableau 11. L'analyse de la variance pour le rendement grain des variétés de colza.....	31
Tableau 12. Effet du mode du travail du sol sur le rendement biologique des variétés de colza pendant les deux campagnes agricoles.....	32
Tableau 13. L'analyse de la variance pour le rendement biologique des variétés de colza.	32
Tableau 14. Effet du mode du travail du sol sur l'indice de récolte des variétés de colza pendant les deux campagnes agricoles	33
Tableau 15. L'analyse de la variance pour l'indice de récolte des variétés de colza	33
Tableau 16. L'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain des variétés de colza	34
Tableau 17. L'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement biologique des variétés de colza.....	34
Tableau 18. L'analyse de la variance pour la teneur en huile des variétés de colza	35
Tableau 19. L'analyse de la variance pour le rendement en huile des variétés de colza	36
Tableau 20. Données brutes (n * p).....	39
Tableau 21. Pourcentage d'inertie expliquée par les quatre premiers axes de l'ACP.....	39
Tableau 22. Matrice de corrélation	41
Tableau 23. Pourcentage d'inertie expliquée par les quatre premiers axes de l'ACP sans individus atypique	41
Tableau 24. Coordonnées factorielles des variables	42
Tableau 25. Coordonnées factorielles des individus	43

Liste des abréviations

- INRA** : institut national de recherche agronomique
- CRRA** : centre régional de recherche agronomique
- OCDE** : organisation de Coopération et de Développement Economique
- ACP** : analyse en composante principale
- ANOVA** : analyse de la variance
- FAO** : organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- DPV** : la direction de la protection des végétaux
- OMS** : organisation mondiale de la santé
- SCE** : somme des carrés des écarts
- CM** : carré des moyennes
- NT** : sol non travaillé
- T** : sol travaillé
- HPL** : hauteur de la plante
- LRC** : longueur racinaire
- VRC** : volume racinaire
- MRC** : matière racinaire
- SIP** : nombre de siliques par plante
- RDGM** : rendement grain
- RDBP** : rendement biologique
- HI** : indice de récolte
- EUEG** : efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain
- EUEB** : efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement biologique
- THUI** : teneur en huile
- RDUI** : rendement en huile

INTRODUCTION GENERALE

La consommation mondiale des huiles végétales se trouve aujourd'hui en permanente croissance en raison de la demande accrue des pays en développement pour l'alimentation humaine et celles des pays de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) pour les biocarburants. Les oléagineux et les huiles végétales sont parmi les plus échangées sur le marché international, avec plus de 40% de la production mondiale commercialisée (Oil world, 2012). Leurs prix ont atteint un record en 2008. Actuellement, le Maroc accuse un grand déficit en matière d'huiles et de protéines végétales issues des grains oléagineux.

Cet essai rentre dans le cadre de relance de la culture du colza dans certaines régions du Maroc. On se propose de rechercher les variétés les plus productives, les plus adaptées et de qualité technologique élevée.

Notre travail consiste à faire un suivie de comportement de cinq variétés du colza, en vue d'évaluer leur réaction vis-à-vis des conditions pluviométriques traduite par l'effet de l'année et le type du mode de travail du sol adopté.

Le premier chapitre est consacré à la présentation du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès, sa mission de recherche et son organisation.

Le deuxième chapitre proposera une revue bibliographique dans laquelle on définit, la culture de la plante de colza, son intérêt agronomique et l'exigence écologique de sa culture.

Dans le troisième et quatrième chapitre on développe les méthodes d'analyse statistique appliquée pour la réalisation de l'étude, soit l'analyse de la variance (ANOVA) ou l'analyse en composantes principales (ACP).

Le chapitre cinq présente les matériels et les méthodes choisis à la réalisation des essais, le développement des paramètres étudiés et le protocole expérimental adopté.

Le sixième et dernier chapitre est dédié aux résultats et discussion sur le comportement des variétés selon les conditions choisis.

Chapitre 1 : MONOGRAPHIE DU CENTRE REGIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE DE MEKNES.

1-1. Présentation

Le Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès a pour mission : l'expertise scientifique au service du développement agricole régional et à profond ancrage historique qui développe une stratégie de recherche actualisée pour la production de technologies, connaissances et méthodes. Les recherches du centre accompagnent la mise en œuvre des plans régionaux adoptés dans le cadre du Plan Maroc Vert et en étroite collaboration avec le développement et la profession.



Photo 1. Siège du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès.

1-2. Une mission de recherche ciblée sur le développement agricole

Le Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès est une entité régionale de l'INRA Maroc chargée d'entreprendre les recherches, études et actions de transfert de technologie répondant aux besoins de sa zone d'action. Ces activités concernent les environnements semi-aride, sub-humide et de montagne et visent :

- Une meilleure connaissance du milieu (naturel et socio-économique) et le développement des technologies performantes pour répondre aux besoins de l'agriculture de notre zone d'action (production de matériel végétal, de connaissances et de méthodes).
- La valorisation et la diffusion des acquis de la recherche agronomique ciblant les environnements semi-aride, sub-humide et de montagne.

1-2-1. Orientations de recherche

- Gestion intégrée de l'arboriculture fruitière ;
- Intensification durable des grandes cultures et diversification des systèmes de culture ;
- Gestion des ressources naturelles et dynamiques des espaces montagnards ;
- Valorisation des acquis de la recherche par l'assistance technique, le renforcement des capacités et le transfert de technologies.

1-3. Des compétences scientifiques et techniques pluridisciplinaires

- 27 Chercheurs spécialisés dans différentes disciplines des sciences agronomiques et humaines (amélioration génétique, phytologie, biotechnologie, agronomie, physiologie végétale, horticulture, agrométéorologie, pédologie, chimie des sols, agro économie, sociologie et communication) ;
- 18 Techniciens de recherche ;
- Deux administrateurs ;
- 31 chercheurs.

1-4. Zone d'action

La zone d'action du CRRA Meknès est l'une des régions les plus vastes dans le découpage régional de l'INRA. Elle s'étend sur une superficie totale de 7 300 000 ha, soit près de 9,8 % du territoire nationale (Voir carte).

L'économie de la région est basée sur une agriculture diversifiée valorisée par une importante industrie agroalimentaire capitalisant un haut potentiel agricole en matière de :

- ✓ Ressources naturelles : richesse pédoclimatique et ressources en eau importantes ;
- ✓ Diversité des systèmes de culture ;
- ✓ Production animale en plein développement.



Photo 2. Carte des zones d'action du centre régional de la recherche agronomique de Meknès.

1-5. Organisation

Conformément à l'organisation structurelle de l'INRA, le Centre Régional de Meknès est organisé en quatre types de structures et deux organes de concertation.

- Plan structurel

Le Chef du Centre (en relation avec la Direction et unités de l'INRA).

✓ 4 Unités de recherche :

- U. R. Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phyto-Génétiques (URAPCRG),
- U. R. Agronomie et Physiologie Végétale (URAPV),
- U. R. Gestion Durable des Ressources Naturelles et de Sociologie et d'Economie Rurales (URGDRNSER),
- U. R. Protection des Plantes (URPP),
- Service Recherche-Développement,
- Service Administratif.

✓ 3 Domaines Expérimentaux :

- D. E. d'Aïn Taoujdate à vocation arboriculture fruitière (140 ha, 467 mm),
- D. E. de Douyet à vocation grandes cultures (440 ha, 450 mm),
- D. E. d'Annoceur à vocation montagne (40 ha, 550 mm, Altitude : 1350 m).

- Plan fonctionnel

Pour développer l'esprit de cogestion de la recherche, le Centre Régional est doté du :

- Conseil Régional Consultatif d'Orientation de la Recherche (CRCO),
- Comité Scientifique et de Gestion du Centre (CSG).

Chapitre 2 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.

2-1. Introduction

Le Maroc comme certains pays en voie de développement connaissent un important déficit en huiles alimentaires et tourteaux. La demande est croissante et les importations vont continuer à augmenter, et ce malgré l'accroissement potentiel de la production locale (l'huile d'olive).

Actuellement, toute la demande nationale en huiles végétales est satisfaite à partir de l'importation soit sous forme de produit semi-fini, huile brute transformée par les unités de raffinage, soit sous forme de produit fini. À cette raison qu'il faut s'intéresser dans notre pays à réintroduire la culture oléagineuse pour atteindre l'autosuffisance en huile alimentaire ou au moins diminuer l'importation. La photo 3 montre un champ de colza en plein floraison dans la zone de Meknès.

Le colza (*Brassica napus* L.), ou « rape » en anglais, « raps » en allemand, colza en espagnol, en italien et en portugais, est une espèce annuelle appartenant à la famille des Brassicacées, anciennement nommée famille des Crucifères, et à la sous-famille des Brassicoidae. Elle est largement cultivée pour la production d'huile alimentaire et de tourteau et plus récemment pour le biocarburant. Avec le tournesol et l'olivier elle est l'une des principales sources d'huile végétale alimentaire au Maroc. Ces graines contiennent environ 40% d'huile de bonne qualité nutritive, et 56% de tourteau (Photo 4).

La culture du colza reste particulièrement évolutive grâce au progrès continu de la recherche en agronomie et en génétique. L'intérêt croissant des agriculteurs pour cette culture et le dynamisme des travaux de recherche, à travers le monde, ont permis d'adapter cette plante aux défis et aux besoins de l'agriculture du 21^{ème} siècle : C'est-à-dire une culture rentable dans le cadre d'une agriculture raisonnée et durable.



Photo 3. Champ de colza en plein floraison dans la zone de Meknès (Sbaâ Ayoun, 2015).



Photo 4. Graines de colza (INRA Meknès, 2015).

2-2. Intérêt agronomique et environnemental de la culture de colza

Au Maroc le colza possède un potentiel estimé à plus de 200.000 ha en « bour » favorable et en irrigué, avec un niveau de rendement réalisable aux alentours de 30 q/ha et une teneur en huile qui dépasse 40% (DPV, 2007). Plusieurs études, dont celles réalisées par l'INRA (Programme des Oléagineux Annuels, 1993-1998) ont montré que le colza jouit d'un phénomène de compensation entre les différentes composantes du rendement en grain. On a pu observer que, même dans des conditions difficiles de croissance et de développement de la culture, notamment en début de cycle, le colza parvient à récupérer et à assurer un minimum de production (Nabloussi, 1994a ; Essahat, 1995). Cette espèce dispose d'une racine pivotante capable de s'enfoncer profondément dans le sol jusqu'à plus d'un mètre, permettant ainsi de remonter en surface des éléments minéraux et d'assurer ce pouvoir de récupération.

La culture de colza présente un avantage d'être un facteur de diversification des rotations incluant notamment les céréales. Le colza joue un essentiel rôle dans la rupture du cycle des pailles par l'exploration racinaire et dans la lutte contre les maladies des céréales et contre les mauvaises herbes. De même, le colza, en tant que précédant cultural, libère le sol tôt pour permettre la préparation de la culture suivante (souvent céréale), laisse derrière lui un sol structuré et propre nettoyé des mauvaises herbes et restitue enfin au sol de grandes quantités d'éléments minéraux et de matière organique. Le rendement du blé après colza dépasse en moyenne celui du blé sur blé de 10 à 30%.

Sur le plan environnement, le colza, grâce à son système racinaire pivotant, permet de restructurer les sols et la plante peut jouer un rôle de pompe à nitrates « piège à nitrates » et contribuer au respect de la qualité de l'eau.

2-3. Importance de la culture

2-3-1. A l'échelle mondiale

Les statistiques les plus récentes de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) montrent que le colza est devenu en 2010 la deuxième culture oléagineuse du monde après le soja, avec un peu plus de 59 millions de tonnes de graines (FAO, 2012). L'Union Européenne, la Chine, le Canada et l'Inde sont les principaux producteurs du colza dans le monde, avec respectivement une proportion approximative de 35 ; 22 ; 20 et 11% de la production mondiale. La surface globale occupée cette culture dépasse 31 millions ha, alors que le rendement en grain moyen est de l'ordre de 19 q/ha (Tableau 1).

Tableau 1. Pays les plus producteurs du colza dans le monde (Année 2010).

Pays	Superficie récoltée (ha)	Rendement réalisé (q/ha)	Production obtenu (tonnes)	% Total
Chine	7.370.010	17,75	13.082.010	22,15
Canada	6.514.400	18,22	11.866.200	20,09
Inde	5.530.000	11,59	6.410.000	10,85
Allemagne	1.461.200	38,99	5.697.600	9,65
France	1.465.230	32,86	4.815.520	8,15
Royaume Uni	653.000	34,15	2.230.000	3,78
Australie	1.729.100	12,61	2.180.600	3,69
Pologne	769.331	27	2.077.630	3,52
Ukraine	862.500	17,04	1.469.700	2,49
Etats-Unis d'Amérique	580.000	19,2	1.113.630	1,89

Source : FAOSTAT, 2012

2-3-2. A l'échelle nationale

La culture du colza a été introduite pour la première fois au Maroc en 1981. En première année de culture (1982), la superficie emblavée et récoltée a été au-dessous de 200 ha alors que le rendement moyen a été aux alentours de 5 q/ha, n'assurant qu'une production de l'ordre de 100 tonnes (Tableau 2).

Les plus grands emblavements ont été réalisés en 1990, avec une superficie semée de l'ordre de 4700 ha et une superficie récoltée approximative de 3100 ha. Le rendement national moyen obtenu a été de l'ordre de 13 q/ha et la production nationale réalisée a été de 4000 tonnes. C'était le record de production de colza tout au long de sa période de culture, entre 1982 et 2001.

En 1996, la filière des oléagineux annuel a connu une dérégulation, se répercutant au niveau de la commercialisation de la production des graines oléagineuses. Une chute des prix considérable a été enregistrée en raison de la diminution du niveau des subventions de l'Etat

qui étaient jusqu'à lors allouées à ce secteur. C'est la raison principale qui était derrière la réduction des superficies de toutes les cultures oléagineuses, dont le colza.

Parmi les objectifs les plus importants l'extension et la diversification progressives des superficies réalisées annuellement en culture oléagineuses pour atteindre, en 2020, 127.000 ha dont 85.000 ha de tournesol et 42.000 ha de Colza.

Le colza possède des potentialités et des atouts très importants qui pourraient assurer sa relance au Maroc. En effet, la superficie potentielle, en sec et en irrigué, qui peut être destinée à la production de la culture du colza au Maroc dépasse 200.000 ha, avec un niveau de rendement potentiel de l'ordre de 30 q/ha (DPV, 2007).

Tableau 2. Evolution des superficies récoltées, rendements réalisés et productions obtenues de la culture de colza au Maroc.

Année	Superficie (ha)	Rendement (q/ha)	Production (tonnes)
1982	193	5	101
1983	329	3	104
1984	523	3	183
1985	715	4	270
1986	1115	7	813
1987	553	14	770
1988	400	11	430
1989	1600	11	1700
1990	3100	13	4000
1991	880	12	1020
1992	1450	7	950
1993	1430	8	1100
1994	1810	11	1960
1995	0	0	0
1996	580	19	1100
1997	600	11	670
1998	842	13	1237
1999	300	6	180
2000	88	6	88
2001	360	8	290
Moyenne	843	10	848

Source : ex-DPV, Ministère de l'Agriculture, 2002.

2-4. Développement et croissance

2-4-1. Phase végétative

Semé en automne, le colza étale d'abord au-dessus du sol ses deux cotylédons (**germination épigée**), puis développe une vingtaine de feuilles formant avant l'hiver, une **rosette**. Au début de l'hiver, la plante possède une tige de 2 à 3 cm, ou de 10 à 20 cm, selon les conditions écologiques ou variétales. Parallèlement à la formation de cette rosette de

feuilles, le système racinaire se développe en **pivot** et la plante y accumule les réserves qui seront utilisées au moment de la montée, de la ramification des tiges et de la maturation.

2-4-2. Phase reproductrice

A la fin de l'hiver débute la **montée** : l'inflorescence s'ébauche au sommet de la tige, et parallèlement commence l'élongation des entre-nœuds supérieurs. La floraison débute bien avant que la tige n'ait atteint sa taille définitive; la ramification de la tige se produit alors que la montée et la floraison se poursuivent. Très échelonnée, la floraison dure de 4 à 6 semaines à l'échelle de la plante; elle est à autogamie prépondérante (70% en moyenne).

2-4-3. Phase de maturation

La formation du fruit est assez rapide. La maturité des graines est acquise en 6 à 7 semaines après la fécondation. A maturité, le moindre choc peut provoquer la déhiscence de la silique et la chute des graines.

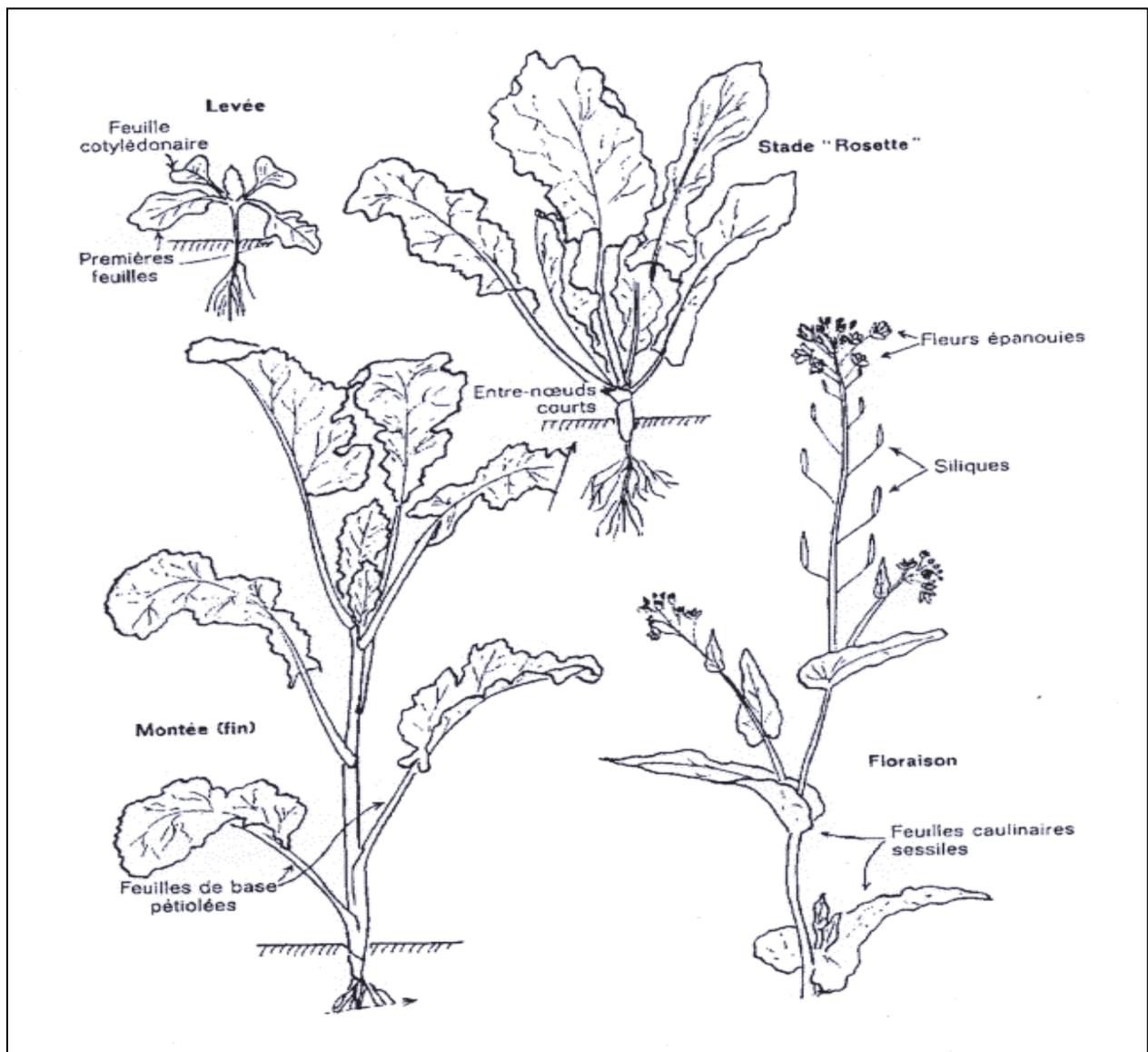


Photo 5. Caractéristiques générales de la plante à différents stades (Moule 1982).

2-5. Exigences écologiques de la culture

2-5-1. Sol

Le colza préfère les sols riches, profonds, ameublés et conservant une certaine humidité tout en étant bien drainés. Il ne tolère pas les sols mal drainés ou inondés (Sattell et al. 1998). Cependant, il peut être cultivé sur une large gamme de types de sol. Les sols argilo-sablonneux très fins, argilo-limoneux et argileux lui sont très convenables (Akhtar, 1993). Par contre, les sols sablonneux ne sont pas recommandés pour la culture du colza à cause de leur faible capacité de rétention de l'eau. Le meilleur pH du sol se situe entre 6 et 8,5.

2-5-2. Eau

Le colza est une culture particulièrement exigeante en eau, avec un besoin globale de 450 à 500 mm sur l'ensemble de son cycle (Akhtar, 1993). Pour avoir une productivité maximale, 30% des besoins devraient être satisfaits durant la période levée-début floraison et 70% durant la période début floraison-maturité (MARA, 1983). A la levée, le colza est très sensible à la sécheresse avec des problèmes de peuplement faible ou nul pouvant remettre en cause la culture.

2-5-3. Nutrition minérale

Les besoins de colza en éléments minéraux sont importants et restent liés aux objectifs des rendements visés. Pour produire un quintal de graines, le colza a besoin de 7 kg d'azote dont la moitié est restitué au sol. L'azote joue un rôle essentiel sur la croissance, l'indice foliaire, le nombre de ramifications, le nombre de siliques et finalement le nombre de graines par silique, composante la plus importante du rendement. Cependant il y a une corrélation négative entre la teneur en huile et la quantité d'azote apporté, ce qui conduit à une diminution de la production d'huile en cas de forte fertilisation azotée.

2-6. Composition des graines du colza

Le produit le plus connu du Colza est évidemment l'huile. L'extrait de ses graines constitue les principales matières grasses d'origine végétale, consommées dans le monde. En outre, une fois extraite il en résulte des résidus qui sont les tourteaux connaissant un regain d'intérêt, notamment pour l'alimentation des animaux monogastriques, grâce à l'amélioration de leur qualité et leur richesse en protéine (Anonyme 1981).

Le Colza contient environ 36 à 42% d'huile et une quantité de protéine qui est égale à 22%. L'huile du Colza est formée d'acides saturés et insaturés.

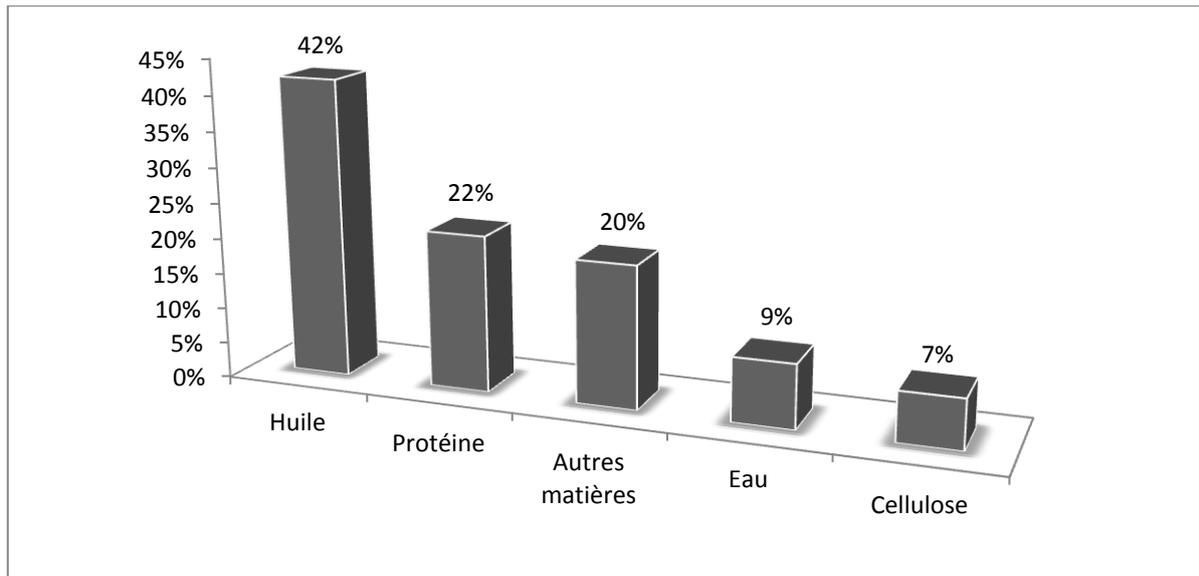


Figure 1. Composition des graines de colza.

2-7. Utilisation des graines de colza

Principalement le colza est cultivé pour son huile alimentaire dépourvue d'acide érucique et riche en acide oléique. Mais d'autres utilisations industrielles non alimentaires ont aussi leur importance. Après récolte, les graines sont stockées, puis pressées pour produire de l'huile. C'est ce qu'on appelle la trituration. Les huiles brutes ainsi obtenues sont ensuite raffinées pour obtenir l'huile de colza alimentaire destinée à l'alimentation humaine ou utilisée en industrie non alimentaire.

2-7-1. Alimentation humaine

L'huile de colza a une couleur variant du jaune au jaune d'or. Les seules variétés admises pour l'alimentation humaine sont celles sans acide érucique dites '0' (simple zéro). Leur intérêt au plan nutritionnel réside dans la décomposition équilibrée de leur huile en acides gras. En effet, cette huile ne contient que 7 à 8% d'acides gras saturés, plus de 60% d'acide gras mono-insaturés (acide oléique) et approximativement 30% d'acides gras polyinsaturés, dont 21% d'acide linoléique, acide gras essentiel précurseur de la famille des acides gras oméga 3. L'huile de colza est donc une source des deux acides gras essentiels indispensables à l'organisme et une source importante d'oméga 3 que l'homme ne consomme pas en quantité suffisante et qui ont un rôle important dans la prévention des maladies cardiovasculaires (FAO/OMS, 1977).

La consommation quotidienne d'huile de colza permet de maintenir les paramètres lipidiques sanguins à un niveau favorable à la prévention de la formation de la thrombose artérielle et l'hypertension chez des sujets sains (Gottenbos, 1989).

De même, l'huile de colza peut aider à prévenir la fibrillation cardiaque qui cause les morts subites. Par ailleurs, l'huile de colza apporte aussi des vitamines, notamment de la vitamine E.

2-7-2. Usage industriel

Il y a plusieurs applications industrielles, alimentaires et non alimentaires, de l'huile de colza. Elle peut entrer dans la composition de la margarine, du beurre de cacao, des huiles anti-poussière, agents anti-mousse, adjuvants pour pesticide et herbicide, biolubrifiants, détergents, produits cosmétiques, produits pharmaceutiques, etc.

L'industrie de la lipochimie cherche des huiles riches en acides gras à chaîne longue qui présentent des caractéristiques assez proches des molécules issues de l'industrie pétrolière. Les huiles les plus appréciées sont celles caractérisées par une haute teneur en acide érucique.

De nos jours, au Canada, aux Etats Unis ou en France, des exploitations agricoles utilisent déjà un lubrifiant à base d'huile de colza dans les moteurs diesel. De même, des projets pilotes démontrent d'importants avantages en fait de lubrification améliorée des moteurs, d'une meilleure réponse à la pompe et de la consommation de carburant.

2-7-3. Alimentation animale

Après extraction de l'huile des graines de colza oléagineux, les résidus sont valorisés sous forme de tourteaux utilisés pour l'alimentation animale. Néanmoins, ces tourteaux doivent contenir une teneur très faible en glucosinolates, substances soufrées goitrigènes ayant des effets adverses en alimentation animale. Le type de colza oléagineux sans acide érucique et à teneur très faible en glucosinolates est communément appelé '00' (double zéro) ou canola (CANadian Oil Low Acid).

Les tourteaux de colza constituent une source intéressante de protéines dont la teneur moyenne est de l'ordre de 40%, et donc ils peuvent concurrencer les tourteaux de soja, En revanche leur valeur énergétique reste faible. Ils sont utilisés surtout pour l'alimentation du gros bétail et grâce à leur très faible teneur en glucosinolates, le bétail ne souffre pas des troubles de métabolisme et de thyroïde.

Chapitre 3 : METHODE D'ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA).

3-1. Introduction

Le but de l'analyse de la variance est de tester la présence de différences significatives ou non entre des moyennes. Le cas classique le plus simple est celui de la comparaison de deux moyennes provenant d'échantillons indépendants. Le test t de Student est la procédure statistique appropriée pour traiter ce cas. Si on a plus de deux échantillons indépendants, il faut une autre méthode pour tester simultanément l'égalité ou non de toutes les moyennes.

L'analyse de la variance est la méthode employée pour tester plusieurs moyennes. Au cœur de cette méthode est la décomposition de la variabilité totale selon les différentes sources présentes dans les données. La variabilité totale est décomposée en deux sources : la variabilité intra due à l'erreur expérimentale et la variabilité inter due aux écarts de moyennes entre les différentes modalités d'un facteur. Cette idée se généralise à des études statistiques avec plusieurs facteurs intervenant dans des designs (plans) expérimentaux complexes.

3-2. Test de signification

Sous l'hypothèse nulle (pas de différence entre les deux populations), la variance estimée avec la variabilité à l'intérieur de chaque groupe (intra) devrait être à peu près la même que la variance entre les groupes (inter). On peut comparer ces variances à l'aide d'un test F (distribution de Fisher) basé sur le ratio des deux variances moyennes (CM). Lorsque le ratio est assez grand, on conclut que les moyennes des populations sont significativement différentes l'une de l'autre.

- Variables dépendantes (réponses) et facteurs (variables indépendantes)

Les variables mesurées sont appelées les *variables dépendantes* (réponses, variable d'intérêt). Les variables qui sont manipulées ou contrôlées (fixées ou mesurées) sont appelées les *variables indépendantes* (ou facteurs).

3-3. ANOVA avec trois facteurs

La méthode d'ANOVA avec trois facteurs ou plus (multi-facteurs) est une généralisation avec d'ANOVA avec deux facteurs. Toutefois lorsqu'on a le même nombre d'observations pour chaque combinaison des facteurs (cellule), l'analyse statistique est grandement simplifiée. Dans les autres cas, par exemple avec des tailles inégales et des cellules sans observation (données manquantes), le traitement statistique est plus compliqué.

Tableau 3. Tableau d'analyse de la variance.

Source	SCE	ddl	CM	F	p-value
A	SCE(A)	a-1	CM(A)	CM(A)/ CM(R)	
B	SCE(B)	b-1	CM(B)	CM(B)/ CM(R)	
C	SCE(C)	c-1	CM(C)	CM(C)/ CM(R)	
AB	SCE(AB)	(a-1)(b-1)	CM(AB)	CM(AB)/ CM(R)	
AC	SCE(AC)	(a-1)(c-1)	CM(AC)	CM(AC)/ CM(R)	
BC	SCE(BC)	(b-1)(c-1)	CM(BC)	CM(BC)/ CM(R)	
ABC	SCE(ABC)	(a-1)(b-1)(c-1)	CM(ABC)	CM(ABC)/ CM(R)	
Erreur	SCE(R)	(n-1)abc	CM(R)	-----	
Totale	SCE(T)	abcn-1	-----	-----	

$$i = 1, 2, \dots, a \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, b \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, c \quad (1)$$

$$l = 1, 2, \dots, n \quad ; \quad ijk = n \quad ; \quad N = abcn$$

- a, b, c : le nombre de groupes indépendants
- n : nombre de répétitions

$$SCE(A) = n \cdot b \cdot c \sum (\bar{Y}_{i...} - \bar{Y}...)^2 \quad (2)$$

$$SCE(B) = n \cdot a \cdot c \sum (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}...)^2$$

$$SCE(C) = n \cdot a \cdot b \sum (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}...)^2$$

$$SCE(AB) = n \cdot c \sum \sum (\bar{Y}_{ij..} - \bar{Y}_{i...} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}...)^2 \quad (3)$$

$$SCE(AC) = n \cdot b \sum \sum (\bar{Y}_{i.k..} - \bar{Y}_{i...} - \bar{Y}_{..k} + \bar{Y}...)^2$$

$$SCE(BC) = n \cdot a \sum \sum (\bar{Y}_{.jk..} - \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..k} + \bar{Y}...)^2$$

$$SCE(ABC) = n \sum \sum \sum (\bar{Y}_{ijk.} - \bar{Y}_{ij..} - \bar{Y}_{i.k.} + \bar{Y}_{i...} + \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{..k.} - \bar{Y}...)^2 \quad (4)$$

$$SCE(R) = \sum \sum \sum \sum (Y_{ijkl} - \bar{Y}_{.ijk.})^2 \quad (5)$$

$$SCE(T) = \sum \sum \sum \sum (Y_{ijkl} - \bar{Y}...)^2 \quad (6)$$

- Tests d'hypothèses

H₀ : il n'y a pas un effet significatif des facteurs sur la variable $\alpha = 5\%$

H₁ : il y'a un effet significatif (7)

On rejette H₀ si p-value < 5%.

On peut aussi tester les hypothèses sur la nullité des interactions doubles avec les ratios F du tableau d'analyse de la variance.

Chapitre 4 : METHODE D'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP).

4-1. Définition

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélés » en statistique) en nouvelles variables non corrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées 'composantes principales', ou axes principaux. Elle permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

Il s'agit d'une approche à la fois géométrique (les variables étant représentées dans un nouvel espace, selon des directions d'**inertie maximale**) et statistique (la recherche portant sur des axes indépendants expliquant au mieux la variabilité (**la variance**) des données). Lorsqu'on veut compresser un ensemble de **p** variables aléatoires, les **q premiers axes** de l'analyse en composantes principales sont un meilleur choix, du point de vue de l'inertie ou de la variance.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode très efficace pour l'analyse de données quantitatives (continues ou discrètes) se présentant sous la forme de tableaux à M observations / N variables. Elle permet d'explorer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus.

4-2. Objectifs de l'ACP

Lorsqu'on étudie simultanément un nombre important de variables quantitatives, comment en faire un graphique global ? La difficulté vient de ce que les individus étudiés ne sont plus représentés dans un plan, espace de dimension 2, mais dans un espace de dimension plus importante.

L'objectif de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est de revenir à un espace de dimension réduite en déformant le moins possible la réalité, Il s'agit donc d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales.

C'est la matrice des variances-covariances (ou celle des corrélations) qui va permettre de réaliser ce résumé pertinent, parce qu'on analyse essentiellement la dispersion des données considérées. De cette matrice, on va extraire, par un procédé mathématique adéquat, les facteurs que l'on recherche, en petit nombre. Ils vont permettre de réaliser les graphiques désirés dans cet espace de petite dimension (le nombre de facteurs retenus), en déformant le moins possible la configuration globale des individus selon l'ensemble des variables initiales (ainsi remplacées par les facteurs).

4-3. Données d'une ACP

On possède un tableau rectangulaire de mesure dont les colonnes sont des **variables** quantitatives (mensurations, taux, stations climatiques) et dont les lignes représentent des **individus** statistiques (unités élémentaires telles que des êtres humains, des pays, des années...).

$X =$	$\begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ u_i \\ \cdot \\ u_n \end{matrix}$	$\left[\begin{array}{cccccc} v_1 & v_2 & \dots & v_j & \dots & v_p \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2p} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{ip} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{np} \end{array} \right]$	<p>X : Tableau de données</p> <p>X_{ij} : Valeur de la ième observation pour la jème variable</p> <p>X_{i.} : ième observation du tableau</p> <p>X._j : jème variable du tableau</p> <p>n : effectif des individus</p> <p>p : nombre de variables</p>
-------	--	--	---

4-4. Interprétations géométriques

Les représentations géométriques entre les lignes et entre les colonnes du tableau de données permettent de visualiser les proximités entre les individus et entre les variables.

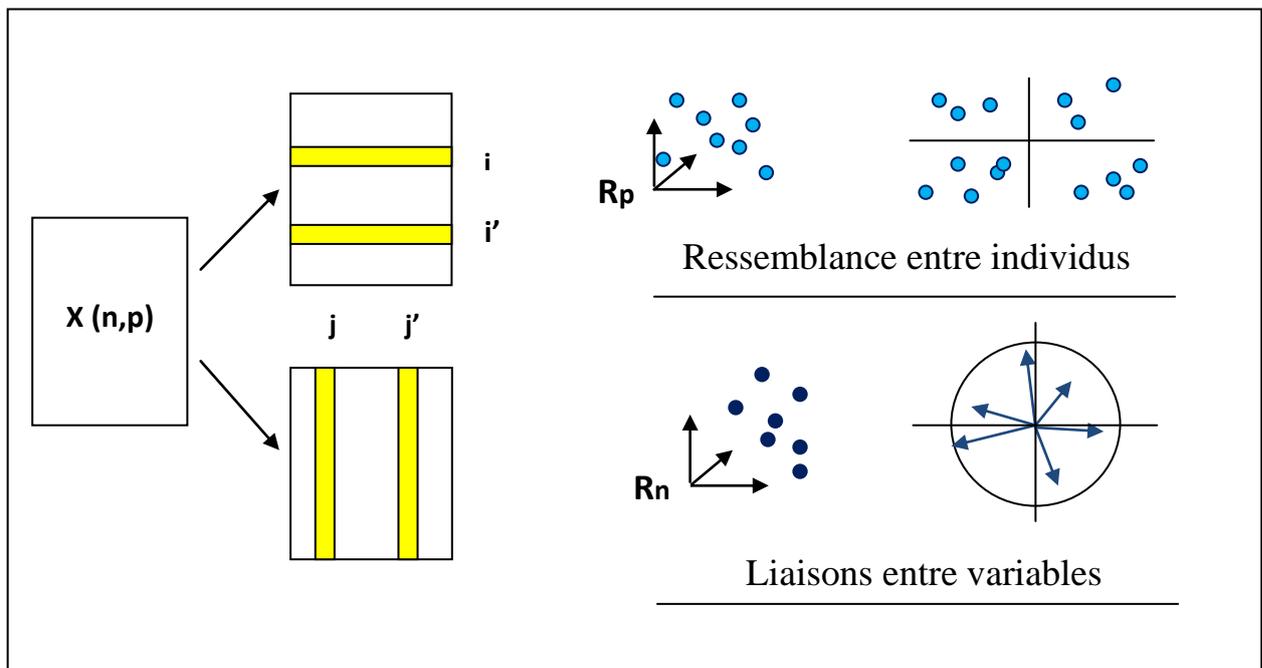


Figure 2. Principe géométrique de l'ACP.

4-4-1. L'espace des individus

Dans l'espace à p coordonnées où se trouvent les individus, les $n(n-1)$ distances attachées aux couples de points individus ont une interprétation directe pour l'utilisateur :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 \quad (8)$$

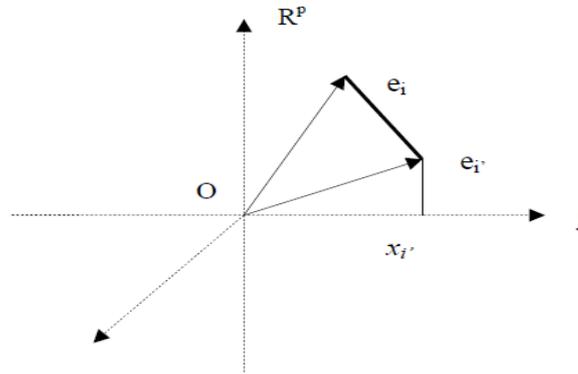


Figure 3. Nuage des individus (Husson et al, 2009).

Il s'agit ici de la distance euclidienne classique. Deux points sont très voisins si, dans l'ensemble, leurs p coordonnées sont très proches. Les deux individus concernés sont alors caractérisés par des valeurs presque égales pour chaque variable. Dans l'exemple évoqué ci-dessus, deux individus représentés par des points proches consacrent les mêmes temps aux mêmes activités.

4-4-2. L'espace des variables

Dans l'espace des variables, les axes représentent les individus et les variables sont représentés comme un nuage de points d'un ensemble de variables. Etudier les variables revient à considérer ce nuage de point dans un espace à R^n , avec n le nombre d'individus.

Les p colonnes peuvent être considérés comme p points dans un espace vectoriel à n dimensions dans R^n . Cet espace est appelé **l'espace des variables**.

Si les valeurs prises par deux variables particulières sont très voisines pour tous les individus, ces variables seront représentées par deux points très proches dans l'espace à n coordonnées où elles se trouvent. Cela peut vouloir dire que ces variables mesurent une même chose ou encore qu'elles sont liées par une relation particulière.

On peut alors définir la corrélation entre les variables, cela revient à étudier la forme du nuage.

Le cosinus de l'angle formé par deux variables (Figure 4) est égal au coefficient de corrélation linéaire entre ces variables :

$$r_{xy} = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{var(x)}\sqrt{var(y)}} = \cos(x, y) \quad (9)$$

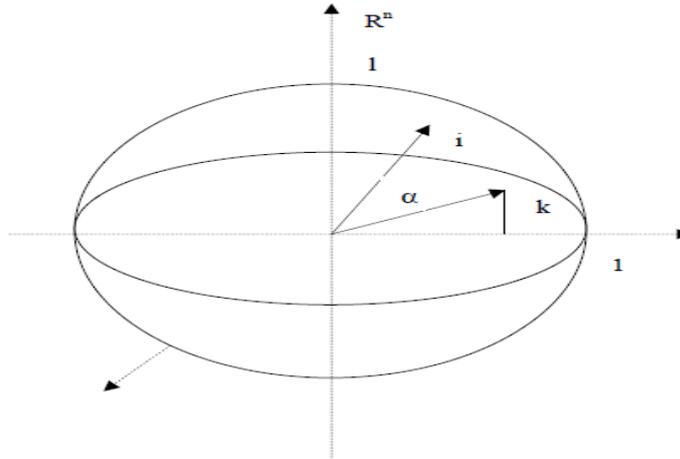


Figure 4. Nuage des variables (Husson et al, 2009).

4-5. Analyse en composantes principales normée

Dans les paragraphes précédents, nous avons étudié une ACP simple, pour laquelle, non seulement tous les individus ont le même poids dans l'analyse, mais aussi, toutes les variables sont traitées de façon symétrique (on leur fait jouer le même rôle). Cela pose parfois des problèmes. Le premier reproche fait par des praticiens est que, si les variables initiales sont hétérogènes, comme par exemples des poids, des tailles, et des âges. Quel sens peut-on donner aux composantes principales qui sont alors des combinaisons linéaires de variables hétéroclites ? Le deuxième reproche, est que si on change d'unités sur ces variables, on peut changer complètement les résultats de l'ACP. Le dernier reproche vient du fait qu'une variable contribuera d'autant plus à la confection des premiers axes, que sa variance est forte.

Pour échapper à tous ces problèmes, on cherche à *normaliser* les variables et à travailler sur des variables *sans dimension*. Il y a plusieurs façons de normaliser les variables, mais la plus couramment utilisée est celle qui consiste à diviser les valeurs des variables par leur écart-type, c'est-à-dire que l'on travaille sur des variables *centrées et réduites*.

Centrer les données revient à travailler sur des variables sans unités, et la réduction permet d'accorder la même importance à chaque variable, ne pas réduire permet de donner plus d'importance aux variables qui ont une variabilité plus grande (une variance plus grande).

Chapitre 5 : MATERIEL ET METHODES.

5-1. Site expérimental

5-1-1. Localisation de l'essai

L'essai a été installé au domaine expérimental de Douyet de l'INRA à Fès, situé à 620m d'altitude et 33°52 de latitude.

5-1-2. Caractéristique du milieu

5-1-2-1. Terrain

Le semis a été réalisé sur un sol argilo-limoneux (53,5 à 62,3% d'argile et 18.3% de limon), profond, et riche en matière organique (3,62%), en potassium (620 ppm) et en phosphore (32 ppm). L'aptitude du sol à la fissuration est relativement forte et a une bonne activité structurale.

5-1-2-2. Climat

a- Pluviométrie

La région de Fès fait partie de l'étage semi-aride. Elle est caractérisée par un régime pluviométrique annuel irrégulier. La distribution des précipitations (Figure 5), montre que la pluviométrie est irrégulière et mal répartie. Le début des deux campagnes a enregistré une pluviométrie en croissance, du fait qu'on remarque une augmentation régulière pendant les trois mois (septembre, octobre, novembre), on a totalisé 248 et 259,3 mm, soit 62 et 35% du total annuel des années 2011/2012 et 2012/2013 respectivement. Les volumes des précipitations les plus élevées ont été enregistrés pendant le mois de novembre pour la campagne 2011/2012 et le mois de mars pour la campagne 2012/2013 avec des quantités de 183,1 et 173 mm respectivement.

La pluviométrie totale de la campagne 2011/2012, enregistrée à la station météorologique de l'INRA entre septembre et juin a été de 396,9 mm. Cette quantité est inférieure à celle enregistrée pendant la campagne 2012/2013, un total de 735,6 mm.

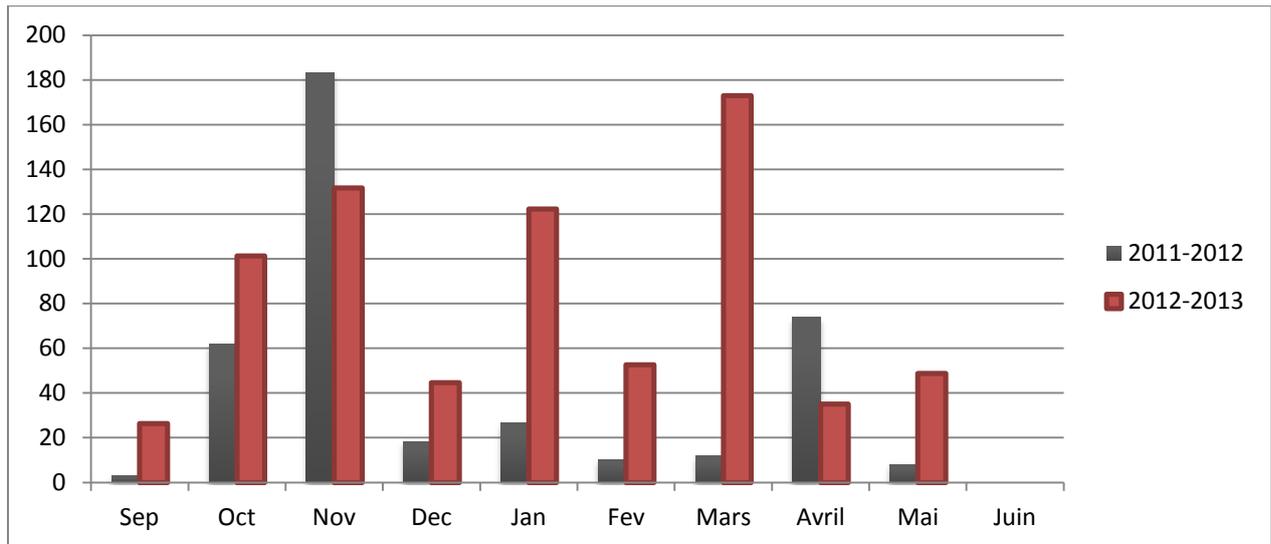


Figure 5. Pluviométrie décadaire. Campagnes agricoles 2011-2012 ; 2012-2013.

5-2. Protocole expérimental

5-2-1. Description des facteurs étudiés

5-2-1-1. Années

L'étude a été effectuée pendant deux campagnes agricoles successives 2011/2012 et 2012/2013.

5-2-1-2. Mode de travail du sol

Le choix du mode de travail du sol a été fait en parcelle principale de façon à avoir deux niveaux de profondeur du sol. Ainsi, pour tester le comportement des variétés de colza étudiées par rapport au mode de travail du sol adapté, l'expérimentation a porté sur deux modes du travail du sol :

- Sol non travaillé (NT) : c'est une technique culturale simplifiée utilisée en agriculture (où l'on parle aussi de « culture sans labour ») basée sur l'introduction directe de la graine dans le sol, sans passer par le travail du sol.
- Sol travaillé (T) : Les travaux primaires ont été effectués avec une charrue à trois disques et un cover-crop. La préparation du lit de semences a eu lieu au moyen d'un cover-crop croisé.

5-2-1-3. Variétés

Le choix de la variété a été fait de façon à avoir la possibilité de comparaison entre des variétés obtenues par l'INRA et des variétés étrangères (Espagne). Cinq variétés de colza ont été testées et semées en parcelle élémentaire :

- ❖ Variété 1 = JURA ;
- ❖ Variété 2 = INRA CZ 289 ;
- ❖ Variété 3 = FANTAZIA ;
- ❖ Variété 4 = KABEL ;
- ❖ Variété 5 = INRA CZ 409.

5-2-2. Dispositif expérimental

Cet essai a été effectué pendant deux campagnes agricoles successives 2011/2012, 2012/2013, installé sur une aire de 25*60 m² divisé en 5 parcelles élémentaires de 50 m² chacune. Deux répétitions ont été effectuées, chaque répétition est divisée en deux grandes parcelles occupées par deux modes de travail du sol dont la répartition est faite de façons aléatoires. Chacune des variétés a été divisée en 2 parcelles élémentaires. Chaque parcelle élémentaire fait sortir l'effet du mode de travail du sol et des variétés sur les paramètres de croissance et de développement de la plante de colza, le rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain et pour le rendement biologique, et la qualité technologique de l'huile des graines de colza.

Rép I

Sol Travaillé					Sol non Travaillé				
V1	V2	V3	V4	V5	V4	V1	V5	V3	V2

Rép II

Sol non Travaillé					Sol Travaillé				
V4	V1	V5	V2	V3	V1	V5	V4	V2	V3

Figure 6. Schéma du dispositif expérimental.

5-3. Observations et mesures

5-3-1. Culture de colza

Afin de cerner la croissance et le développement de la culture du colza, nous avons procédé à un certain nombre d'observations durant tout le cycle végétatif du colza et à la récolte de façon à déterminer l'influence des facteurs étudiés sur les paramètres de croissances et développements de la plante, le rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation d'eau soit pour le rendement grain ou pour le rendement biologique, la qualité technologique de l'huile des graines de colza.

5-3-2. Paramètres de Croissances et développements

Chaque parcelle élémentaire a fait l'objet d'un prélèvement de 10 pieds de colza pris au hasard sur la diagonale de la parcelle. Ces prélèvements ont servi pour la mesure de la hauteur de la plante de colza, la longueur racinaire, le volume racinaire, et la matière racinaire.

- Hauteur de la plante (HPL) : la hauteur de la plante a été calculée par une moyenne de 10 plantes de colza, mesurée avec un décimètre (centimètre).
- La longueur racinaire (LRC) : Après rinçage à l'eau du système racinaire de la plante de colza on mesure la longueur racinaire avec un décimètre (centimètre).
- La matière racinaire (MRC) : Après rinçage, le système racinaire est placé dans une étuve au laboratoire à 85 °C pendant 48 heures, puis la matière sèche racinaire est déposée dans des sachets et on effectue le pesage en grammes.
- Le volume racinaire (VRC) : a été déterminé à l'aide de la méthode d'immersion en eau. Dans une éprouvette d'un litre d'eau on fixe le volume d'eau à 250 ml, puis on immerge la biomasse racinaire dans l'éprouvette. La lecture de la variation de l'eau initiale au point d'eau final donne le volume racinaire en millilitres.

5-3-3. Rendement et ses composantes

Le peuplement pied de la culture du colza a été déterminé sur une placette d'un m² par parcelle élémentaire depuis la levée jusqu'à la récolte. De même, le nombre de siliques par m² a été déterminé sur la même placette.

Le nombre de grains par silique et le poids de 1000 grains ont été estimés sur 20 pieds pris au hasard dans chaque parcelle élémentaire.

Les graines obtenues, après battage des pieds de colza récoltés sur le quadra d'un m², ont été pesées séparément pour déterminer le rendement en grain et le rendement biologique.

- Rendement grain estimé (RDGM) : a été calculé selon la formule ci-après :

$$\text{Rdt (g/m}^2\text{)} = \text{Nombre de silique/m}^2 * \text{Nombre de grains/silique} * \text{poids moyen d'une graine} \quad (10)$$

- Rendement biologique (RDBP) : c'est la biomasse totale par m².
- Indice de récolte (HI) : est le rapport entre le rendement grain et le rendement biologique en pourcentage.

5-3-4. Efficience d'utilisation d'eau

L'efficience d'utilisation d'eau est définie par le rendement par unité d'eau.

- Efficience d'utilisation d'eau pour le rendement grain (EUEG) : est le rapport entre le rendement grain et la quantité d'eau consommée en millimètre (kg/mm/ha).
- Efficience d'utilisation d'eau pour le rendement biologique (EUEB) : est le rapport entre le rendement biologique et la quantité d'eau consommée en millimètre (kg/mm/ha).

5-3-5. Qualité technologique de l'huile des graines de colza

- Teneur en huile (THUI) : la teneur en huile se définit comme étant la quantité maximale de matière (lipides) qui peut être extraite de la graine en pourcentage, déterminée par spectroscopie de réflexion dans le proche infrarouge (NIRS).

Par un prélèvement de 100g de grains par variété, la teneur en huile est déterminée à l'aide de (NIRS) cette technique permet de mesurer l'énergie du proche infrarouge avec une longueur d'onde de 1100 à 2500 nm absorbée par l'échantillon.

- Rendement en huile (RDUI) : le rendement en huile en (g/m²) est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$RDUI = THUI \times RDGM \quad (11)$$

5-4. Analyses statistiques

L'analyse de la variance a été effectuée à l'aide du logiciel « MINITAB ». La comparaison des moyennes a été faite selon le test de NEWMAN et KEULS à une probabilité de 5 %. Puis, nous avons utilisé le logiciel « The Unscrambler » pour traiter nos données par Analyse en Composantes Principales, pour analyser les données et visualiser les corrélations entre les variables.

Chapitre 6 : RESULTATS ET DISCUSSION.

6-1. Application de l'analyse de la variance (ANOVA)

6-1-1. Données brutes pour l'application de l'ANOVA

L'ensemble des analyses et résultats sont groupés dans le tableau suivant :

Tableau 4. Données brutes.

AN	REP	TNT	V	HPL	SIP	RDGM	RDBP	HI	EUEG	EUEB	LRC	VRC	MRC	THUI	RDUI
1	1	1	1	74,4	75,5	63,6	515,0	12,3	2,9	23,4	16,5	3,0	2,1	49,7	31,6
1	1	1	2	62,1	37,8	71,0	220,0	32,3	3,2	10,0	14,2	1,8	3,7	51,2	36,4
1	1	1	3	70,9	23,6	48,8	225,0	21,7	2,2	10,2	14,2	1,2	1,5	49,3	24,1
1	1	1	4	53,0	29,5	45,7	205,0	22,3	2,1	9,3	16,5	1,2	1,2	47,0	21,5
1	1	1	5	61,4	38,9	52,8	405,0	13,0	2,4	18,4	15,3	3,5	2,8	48,7	25,7
1	1	2	1	64,0	77,9	60,0	560,0	10,7	2,7	25,5	16,5	4,7	2,0	48,3	29,0
1	1	2	2	85,3	57,8	76,2	275,0	27,7	3,5	12,5	15,3	3,5	1,3	47,5	36,2
1	1	2	3	78,0	60,2	123,6	390,0	31,7	5,6	17,7	16,5	2,4	1,2	48,0	59,3
1	1	2	4	72,4	148,7	46,5	990,0	4,7	2,1	45,0	13,0	4,7	2,1	48,5	22,6
1	1	2	5	61,2	47,2	88,0	340,0	25,9	4,0	15,5	14,2	2,5	1,6	50,3	44,3
2	1	1	1	147,8	355,4	360,0	970,0	37,1	7,2	19,4	22,8	40,3	11,7	48,1	173,2
2	1	1	2	130,0	353,4	316,5	1465,0	21,6	6,3	29,3	22,8	28,8	8,5	50,4	159,5
2	1	1	3	134,9	317,8	302,0	1190,0	25,4	6,0	23,8	22,1	34,5	10,1	47,6	143,8
2	1	1	4	137,7	314,0	285,5	775,0	36,8	5,7	15,5	22,1	11,5	9,9	47,2	134,8
2	1	1	5	141,2	314,5	244,3	1395,0	17,5	4,9	27,9	22,8	40,3	11,0	49,8	121,7
2	1	2	1	161,0	387,2	279,5	853,6	42,2	5,6	17,1	19,8	35,0	10,2	47,8	133,6
2	1	2	2	141,6	385,0	137,0	1259,9	25,1	2,7	25,2	19,8	25,0	7,4	50,1	68,6
2	1	2	3	147,0	346,2	165,5	1059,1	28,5	3,3	21,2	19,2	30,0	8,8	48,2	79,8
2	1	2	4	150,0	342,0	151,0	666,5	42,8	3,0	13,3	19,2	10,0	8,6	48,3	72,9
2	1	2	5	153,8	342,6	145,8	1213,7	20,1	2,9	24,3	19,8	35,0	9,6	49,8	72,6
1	2	1	1	80,7	52,5	58,0	355,0	5,1	0,8	16,1	11,5	2,1	1,5	51,8	30,0
1	2	1	2	64,0	26,2	65,2	150,0	43,5	3,0	6,8	9,8	1,2	2,6	49,7	32,4
1	2	1	3	75,0	16,4	23,8	155,0	15,4	1,1	7,0	9,8	0,8	1,0	48,4	11,5
1	2	1	4	51,0	20,5	29,3	145,0	20,2	1,3	6,6	11,5	0,8	0,8	46,4	13,6
1	2	1	5	70,0	27,1	51,4	285,0	18,0	2,3	13,0	10,7	2,5	1,9	46,0	23,6
1	2	2	1	66,0	54,1	51,7	390,0	13,3	2,4	17,7	11,5	3,3	1,4	50,9	26,3
1	2	2	2	79,0	40,2	38,4	195,0	19,7	1,7	8,9	10,7	2,5	0,9	49,8	19,1
1	2	2	3	75,0	41,8	36,8	270,0	13,6	1,7	12,3	11,5	1,6	0,8	50,5	18,6
1	2	2	4	70,9	103,3	24,5	690,0	3,6	1,1	31,4	9,0	3,3	1,4	49,2	12,1
1	2	2	5	64,7	32,8	26,9	240,0	11,2	1,2	10,9	9,8	1,7	1,1	47,8	12,9
2	2	1	1	160,2	655,0	240,5	595,0	40,4	4,8	11,9	25,1	51,8	16,8	48,3	116,2
2	2	1	2	152,3	181,0	157,0	1064,0	14,8	3,1	21,3	21,9	28,8	8,7	49,8	78,2
2	2	1	3	162,2	308,2	364,0	1010,0	36,0	7,3	20,2	23,9	46,0	12,7	47,9	174,4
2	2	1	4	155,2	329,7	259,0	675,0	38,4	5,2	13,5	22,8	40,3	11,0	48,3	125,1

2	2	1	5	187,0	325,0	171,0	1252,0	13,7	3,4	25,0	25,1	40,3	11,3	50,1	85,7
2	2	2	1	143,0	584,8	362,5	523,6	45,9	7,3	10,5	21,8	45,0	14,6	48,1	174,4
2	2	2	2	136,0	161,6	236,0	915,0	17,2	4,7	18,3	19,0	25,0	7,6	49,9	117,8
2	2	2	3	144,8	275,2	383,9	898,9	40,5	7,7	18,0	20,8	40,0	11,0	48,2	185,1
2	2	2	4	138,6	294,4	310,5	580,5	44,6	6,2	11,6	19,8	35,0	9,6	48,1	149,4
2	2	2	5	167,0	290,2	158,0	1089,2	15,7	3,2	21,8	21,8	35,0	9,8	50,2	79,3

6-1-2. L'effet des facteurs sur les variables étudiées

En moyenne, cinq variétés introduites ont été évaluées par année. La première évaluation a eu lieu en 2011/2012, la deuxième en 2012/2013. Pour chaque année, deux modes du travail du sol sont établis, dont l'un avec un sol travaillé, et l'autre avec un sol non travaillé.

6-1-2-1. Paramètres de Croissances et développements

a-Hauteur de la plante

La figure 7 montre l'évolution de la hauteur de la plante en fonction des variétés pendant les deux campagnes agricoles. Par ailleurs l'analyse statistique (Tableau 5) a montré qu'il y a un effet significatif de l'année sur la croissance en hauteur de la plante, l'année 2012/2013 a donné la meilleure hauteur (en moyenne de 149,6 cm), par contre, la hauteur de la plante au niveau de l'année 2011/2012 était inférieure (en moyenne de 68,9 cm). Ceci s'explique par les conditions climatiques, la différence pluviométrique entre les deux années était très importantes (Figure 5), ce qui a engendré cette grande variation de la hauteur de la plante, c'est-à-dire que la plante de colza a besoin d'une pluviométrie annuelle importante pour faire sa croissance et son développement.

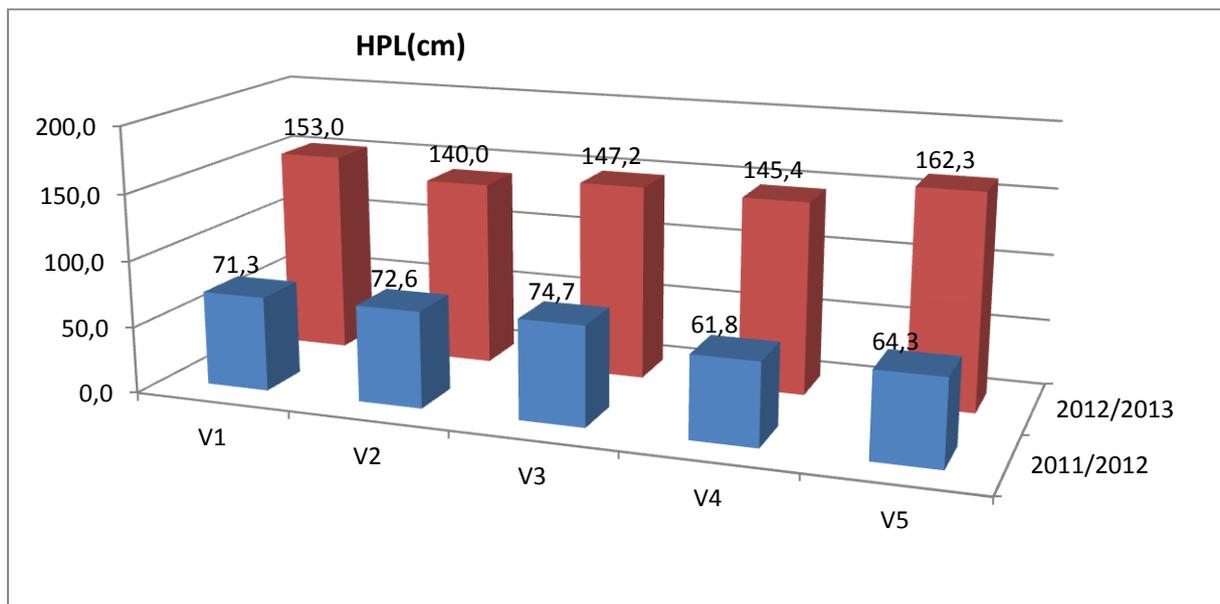


Figure 7. Effet de l'année sur la hauteur de la plante des variétés de colza.

Tableau 5. L'analyse de la variance de la hauteur de la plante des variétés de colza

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	64987,8	64987,8	556,665	0,000***
TNT	1	158,8	158,8	1,360	0,257
Variété	4	557,5	139,375	1,194	0,344
Année*TNT	1	20	20	0,171	0,683
Année*Variété	4	809,6	202,4	1,734	0,182
TNT*Variété	4	525,9	131,475	1,126	0,372
Année*TNT*Variété	4	539,4	134,85	1,155	0,360
Résiduel	20	2334,9	116,745		
Total	39	69934			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

b-La longueur racinaire

L'analyse statistique (Tableau 6) a révélé un effet significatif de l'année sur la longueur racinaire des variétés de colza, par contre les facteurs variété et mode du travail du sol n'ont pas montré d'effet significatif sur ce paramètre. Cependant, la longueur racinaire des variétés de colza dans l'année 2011/2012 varie entre 12,5 et 14 cm, et varie de 20,9 à 22,4 cm dans l'année 2012/2013. La plante de colza a trouvé des difficultés pour son développement et sa pénétration dans le sol dans l'année 2011/2012 à cause de cette faible pluviométrie durant cette année.

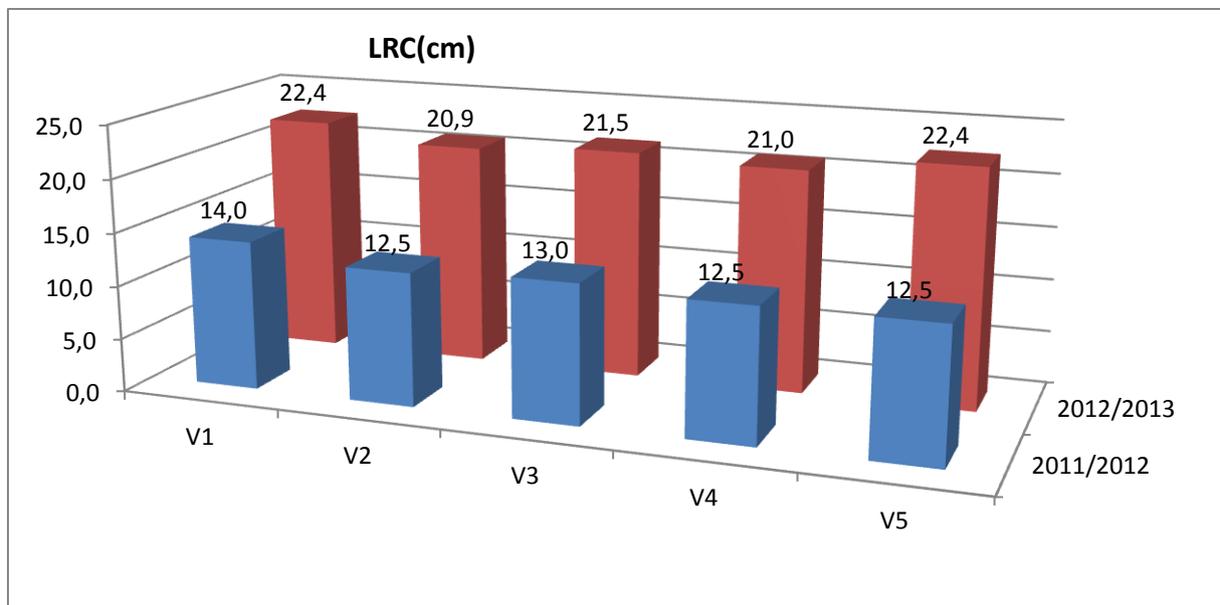


Figure 8. Effet de l'année sur la longueur racinaire de la plante des variétés de colza.

Tableau 6. L'analyse de la variance de la longueur racinaire des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	760,384	760,384	125,125	0,000***
TNT	1	26,244	26,244	4,319	0,051
Variété	4	11,941	2,98525	0,491	0,742
Année*TNT	1	20,164	20,164	3,318	0,084
Année*Variété	4	3,361	0,84025	0,138	0,966
TNT*Variété	4	7,431	1,85775	0,306	0,871
Année*TNT*Variété	4	7,411	1,85275	0,305	0,871
Résiduel	20	121,54	6,077		
Total	39	958,476			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

c-Le volume racinaire

La figure 9 montre l'évolution du volume racinaire en fonction des variétés du colza pendant les deux campagnes agricoles. L'analyse statistique (Tableau 7) a montré qu'il y a un effet significatif de l'année sur le volume racinaire, il existe une grande différence entre les deux années comme illustre la figure 9, l'année 2012/2013 a donné le meilleur volume (en moyenne de 33,9 ml), par contre, le volume racinaire au niveau de l'année 2011/2012 était inférieur (en moyenne de 2,4 ml).

La figure montre que les variétés V1=JURA ; V3=FANTAZIA et V5=INRA CZ 409 ont une très bonne occupation du sol pendant l'année 2012/2013 dans un premier temps, et les variétés V2=INRA CZ 289 et V4=KABEL dans un deuxième temps. Ceci est dû aux bonnes conditions climatiques pendant cette année.

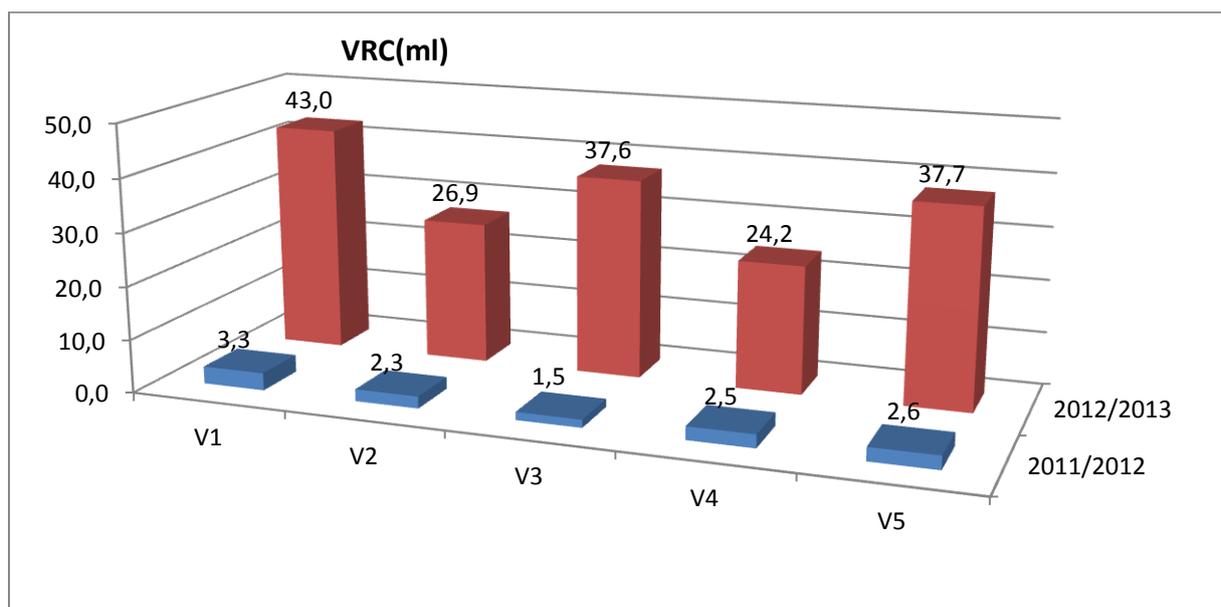


Figure 9. Effet de l'année sur le volume racinaire des variétés de colza.

Tableau 7. L'analyse de la variance du volume racinaire des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	9900,46	9900,46	205,442	0,000***
TNT	1	31,51	31,51	0,654	0,428
Variété	4	532,95	133,2375	2,765	0,056
Année*TNT	1	89,1	89,1	1,849	0,189
Année*Variété	4	490,74	122,685	2,546	0,071
TNT*Variété	4	10,05	2,5125	0,052	0,994
Année*TNT*Variété	4	2,76	0,69	0,014	1,000
Résiduel	20	963,82	48,191		
Total	39	12021,38			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

d-La matière racinaire

L'analyse statistique (Tableau 9) a montré qu'il y a un effet significatif de l'année, du mode du travail du sol et de la variété sur la matière sèche racinaire des variétés de colza, ainsi, l'interaction Année*Variété a un effet significatif sur ce paramètre.

Il ressort du tableau 8 que la matière sèche racinaire varie entre 5,72 et 8,02g en sol travaillé et 4,30 et 7,05g en sol non travaillé. Par ailleurs, il existe une grande différence entre les deux années, l'année 2012/2013 (en moyenne de 10,44g), et au niveau de l'année 2011/2012 était inférieure (en moyenne de 1,64g).

Tableau 8. Effet du mode du travail du sol et de l'année sur la matière racinaire des variétés de colza.

Variétés	Matière racinaire (g)			
	sol travaillé	sol non travaillé	2011/2012	2012/2013
V1= jura	8,02	7,05	1,75	13,32
V2=INRA CZ 289	5,87	4,30	2,12	8,05
V3=Fantazia	6,32	5,45	1,12	10,65
V4=Kabel	5,72	5,42	1,37	9,77
V5=INRA CZ 409	6,75	5,52	1,85	10,42
moyenne	6,54	5,55	1,64	10,44

Tableau 9. L'analyse de la variance de la matière racinaire des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	774,4	774,4	487,044	0,000***
TNT	1	9,801	9,801	6,164	0,022*
Variété	4	27,189	6,79725	4,275	0,012*
Année*TNT	1	2,116	2,116	1,331	0,262
Année*Variété	4	33,405	8,35125	5,252	0,005**
TNT*Variété	4	1,774	0,4435	0,279	0,888
Année*TNT*Variété	4	2,954	0,7385	0,464	0,761
Résiduel	20	31,8	1,59		
Total	39	883,439			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

6-1-2-2. Rendement et ses composantes

a-Nombre de siliques par plante

La figure 10 montre l'évolution du nombre de siliques par plante en fonction des variétés de colza pendant les deux campagnes agricoles. Par ailleurs, l'analyse statistique (Tableau 10) a montré qu'il y a un effet significatif de l'année sur le nombre de siliques par plante. On remarque que la variété de colza V1=JURA a obtenu une production en siliques par plante très intéressantes (495,6 siliques par plante) pendant l'année 2012/2013, comparé à l'année 2011/2012 avec (50,6 siliques par plante). Soit une réduction de 90%. Cependant, l'analyse statistique a révélé aussi un effet significatif de la variété sur le nombre de siliques par plante, le test de comparaison des moyennes a classé les moyennes des variétés de la façon suivante : V1= JURA > V4= INRA CZ 289 > V5= FANTAZIA > V3= KABEL > V2=INRA CZ 409. Ceci s'explique par le matériel génétique de la variété V1=JURA qui s'adapte aux conditions climatiques de l'année 2012/2013.

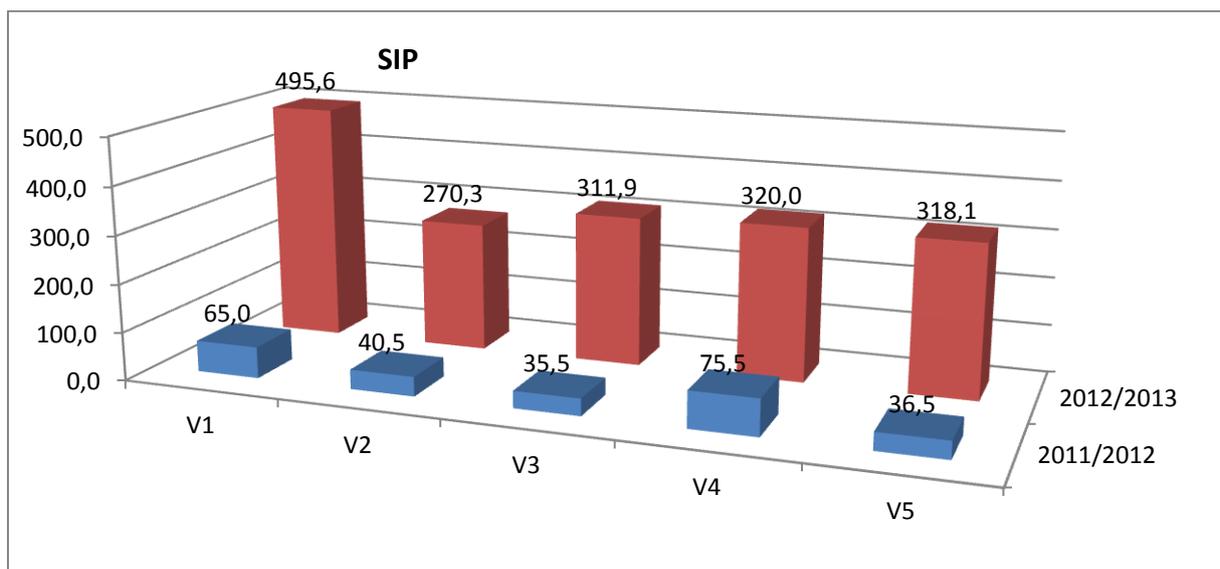


Figure 10. Effet de l'année sur le nombre de siliques par plante des variétés de colza.

Tableau 10. L'analyse de la variance du nombre de siliques par plante des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	855914	855914	153,282	0,000***
TNT	1	1839	1839	0,329	0,572
Variété	4	76837	19209,25	3,440	0,027*
Année*TNT	1	3254	3254	0,583	0,454
Année*Variété	4	51382	12845,5	2,300	0,094
TNT*Variété	4	3733	933,25	0,167	0,953
Année*TNT*Variété	4	3114	778,5	0,139	0,966
Résiduel	20	111678	5583,9		
Total	39	1107750			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

b-Rendement grain

L'analyse statistique (Tableau 11) a révélé un effet significatif de l'année sur le rendement grain des variétés de colza. La figure 11 résume les rendements grains obtenus pour les différentes variétés durant les deux campagnes agricoles. Le rendement moyen obtenu est de l'ordre de 54,11 et 251,475 g/m² respectivement pour l'année 2011/2012 et l'année 2012/2013. Il y a une amélioration du rendement dans la 2^{ème} année plus de 5 fois par rapport à l'année 2011/2012. Ceci explique la bonne répartition de la pluie le long du cycle végétatif de la plante, d'où une bonne croissance et développement des variétés du colza ce qui a entraîné un bon rendement en grain.

Le test de comparaison des moyennes a classé les moyennes des variétés de la façon suivante : V1=JURA > V3=FANTAZIA > V4=KABEL > V2=INRA CZ 289 > V5=INRA CZ 409.

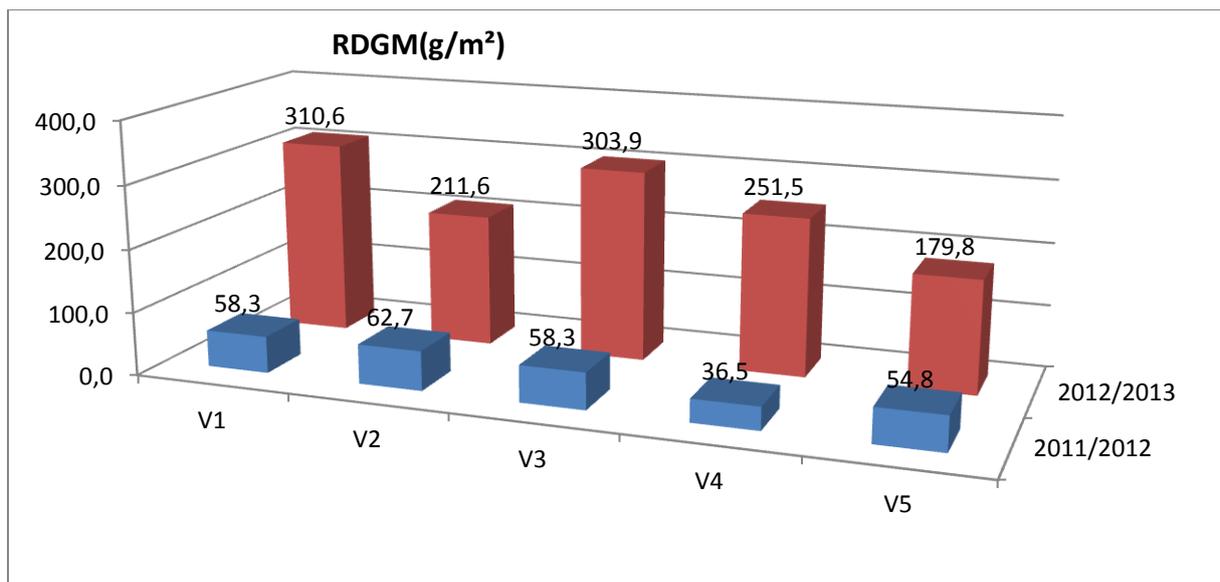


Figure 11. Effet de l'année sur le rendement grain des variétés de colza.

Tableau 11. L'analyse de la variance pour le rendement grain des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	389529	389529	101,289	0,000***
TNT	1	2358	2358	0,613	0,443
Variété	4	27083	6770,75	1,761	0,176
Année*TNT	1	4689	4689	1,219	0,283
Année*Variété	4	26477	6619,25	1,721	0,185
TNT*Variété	4	1950	487,5	0,127	0,971
Année*TNT*Variété	4	4288	1072	0,279	0,888
Résiduel	20	76914	3845,7		
Total	39	533289			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

c-Rendement biologique

L'analyse statistique (Tableau 13) a permis de déceler un effet significatif de l'année sur le rendement biologique, Le rendement moyen obtenu est de l'ordre de 350 et 972,5 g/m² respectivement pour l'année 2011/2012 et l'année 2012/2013. Ainsi L'analyse statistique a révélé que les interactions Année*TNT et Année*Variété ont un effet significatif sur le rendement biologique.

Il ressort du tableau 12 que le rendement biologique moyen en sol travaillé, toutes variétés confondues, est inférieur à celui du sol non travaillé pendant l'année 2012/2013, par contre on remarque, une haute augmentation du rendement biologique pendant l'année 2013/2014, même dépasse le mode du sol travaillé à celui du mode du sol non travaillé.

Ceci s'explique par la variation pluviométrique entre l'année 2011/2012 et 2012/2013 qui est de 396,9 et 735,6 mm respectivement. Ainsi, le mode de travail du sol qui s'exprime en 2^{ème} année vu que l'année est pluvieuse, par conséquent on assiste à une bonne production de la biomasse totale.

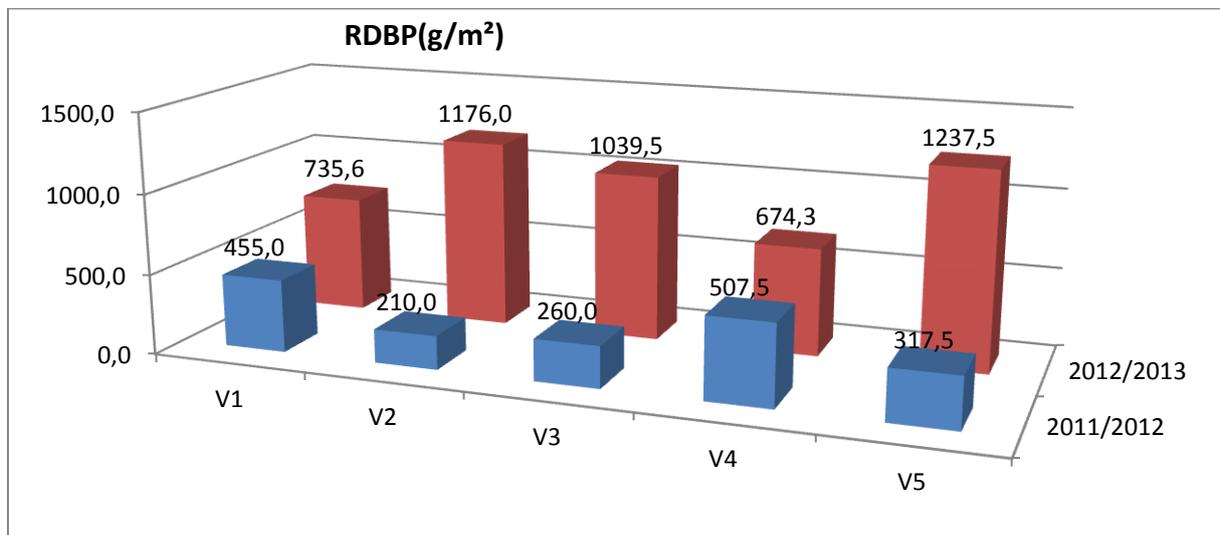


Figure 12. Effet de l'année sur le rendement biologique des variétés de colza.

Tableau 12. Effet du mode de travail du sol sur le rendement biologique des variétés du colza pendant les deux campagnes agricoles.

Années	Rendement biologique (g/m ²)	
	sol travaillé	sol non travaillé
2011/2012	266,0	434,0
2012/2013	1039,1	906,0
moyenne	652,5	670,0
MG	661,3	

Tableau 13. L'analyse de la variance pour le rendement biologique des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	3875685	3875685	183,727	0,000***
TNT	1	3045	3045	0,144	0,708
Variété	4	191648	47912	2,271	0,097
Année*TNT	1	226653	226653	10,744	0,004**
Année*Variété	4	1111507	277876,75	13,173	0,000***
TNT*Variété	4	191201	47800,25	2,266	0,098
Année*TNT*Variété	4	142759	35689,75	1,692	0,191
Résiduel	20	421896	21094,8		
Total	39	6164394			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

d-Indice de récolte

Le tableau 14 résume les valeurs de l'indice de récolte trouvées pour les différentes séquences du travail du sol pendant les deux campagnes agricoles. Aucune différence statistiquement significative ne s'est dégagée entre les deux modes du travail du sol. L'indice de récolte moyen obtenu et de l'ordre de 24 %.

L'analyse statistique (Tableau 15) a révélé un effet significatif de l'année et de la variété sur l'indice de récolte. Ainsi, les interactions Année*Variété et Année*TNT ont un effet significatif sur ce paramètre. Le classement des moyennes par le test de Newman et Keuls a montré que la variété V5 = INRA CZ 409 présente le plus faible indice de récolte 16,89 %, les autres variétés appartenant à un groupe statistiquement homogène ont une moyenne de 26 %.

Tableau 14. Effet du mode de travail du sol sur l'indice de récolte des variétés de colza pendant les deux campagnes agricoles.

Années	indice de récolte (%)	
	sol travaillé	sol non travaillé
2011/2012	20,38	16,21
2012/2013	28,17	32,26
moyenne	24,27	24,23
MG	24,25	

Tableau 15. L'analyse de la variance pour l'indice de récolte des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	1420	1420	43,989	0,000***
TNT	1	0,02	0,02	0,001	0,980
Variété	4	553,8	138,45	4,289	0,011*
Année*TNT	1	170,57	170,57	5,284	0,032*
Année*Variété	4	2605,43	651,3575	20,178	0,000***
TNT*Variété	4	206,26	51,565	1,597	0,214
Année*TNT*Variété	4	247,94	61,985	1,920	0,146
Résiduel	20	645,62	32,281		
Total	39	5850,5			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

6-1-2-3. Efficience d'utilisation d'eau

La figure 13 illustre l'efficience d'utilisation d'eau pour le rendement grain et pour le rendement biologique pendant les deux campagnes agricoles. L'analyse statistique a révélé un effet significatif de l'année sur l'efficience d'utilisation d'eau (EUE). Par ailleurs, il existe un effet significatif des interactions d'ordre 2 et d'ordre 3 sur l'efficience d'utilisation d'eau pour le rendement biologique. Et comme on a vu précédemment, il y a un effet pluvial sur la production en graines et biologique, ceci s'explique par cette différence annuelle sur l'efficience d'utilisation de l'eau soit pour le rendement grain ou le rendement biologique des variétés de colza.

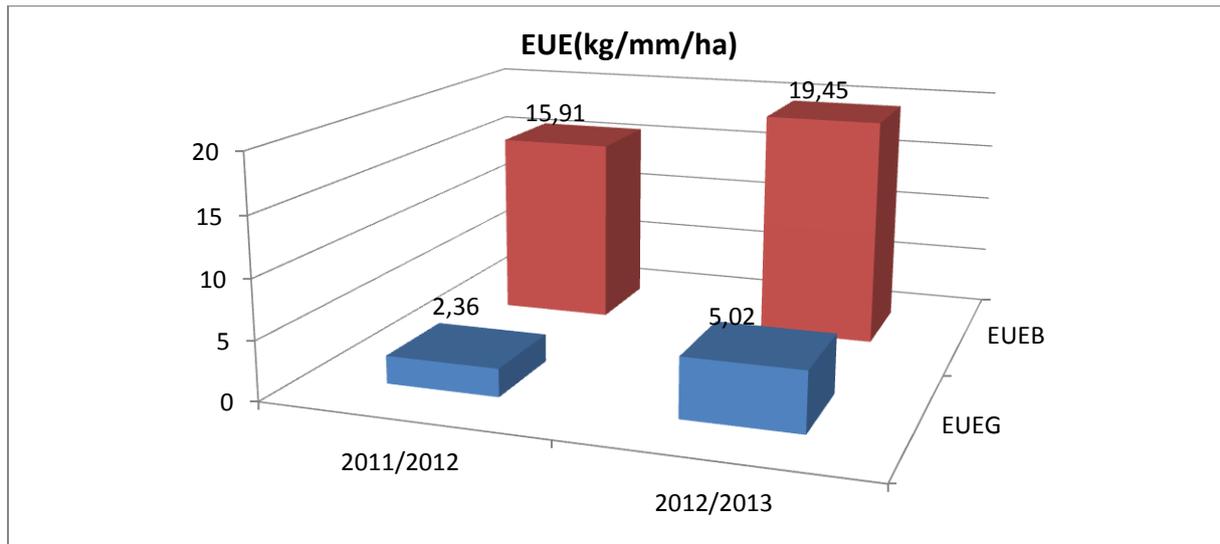


Figure 13. Effet de l'année sur l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain et rendement biologique des variétés de colza.

Tableau 16. L'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	70,756	70,756	31,287	0,000***
TNT	1	0,169	0,169	0,075	0,787
Variété	4	10,419	2,60475	1,152	0,361
Année*TNT	1	3,6	3,6	1,592	0,222
Année*Variété	4	14,064	3,516	1,555	0,225
TNT*Variété	4	2,791	0,69775	0,309	0,869
Année*TNT*Variété	4	2,71	0,6775	0,300	0,875
Résiduel	20	45,23	2,2615		
Total	39	149,739			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

Tableau 17. L'analyse de la variance de l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement biologique des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	125,67	125,67	7,442	0,013*
TNT	1	62,75	62,75	3,716	0,068
Variété	4	58	14,5	0,859	0,505
Année*TNT	1	265,74	265,74	15,736	0,001**
Année*Variété	4	894,24	223,56	13,239	0,000***
TNT*Variété	4	361,06	90,265	5,345	0,004**
Année*TNT*Variété	4	318,99	79,7475	4,722	0,008**
Résiduel	20	337,74	16,887		
Total	39	2424,18			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

6-1-2-4. Qualité technologique de l'huile des graines de colza

a- Teneur en huile

L'analyse statistique (Tableau 18) a révélé un effet significatif de la variété et on note une interaction Année*Variété sur la teneur en huile. Cependant, l'année n'a pas d'effet significatif sur ce paramètre. La figure 14 résume les teneurs en huiles obtenus pour les différentes variétés durant les deux campagnes agricoles. La valeur moyenne la plus élevée de la teneur en huile a été observée chez la variété V2= INRA CZ 289 (49,8%), alors que la valeur la plus faible a été observée chez la variété V4=KABEL (47,8%). Le test de Newman et Keuls a permis de ressortir 3 groupes homogènes : V2=INRA CZ 289 > V1=JURA = V5=INRA CZ 409 = V3=FANTAZIA > V4=KABEL. Ceci est dû au matériel génétique des variétés du colza qui s'adapte aux environnements différents.

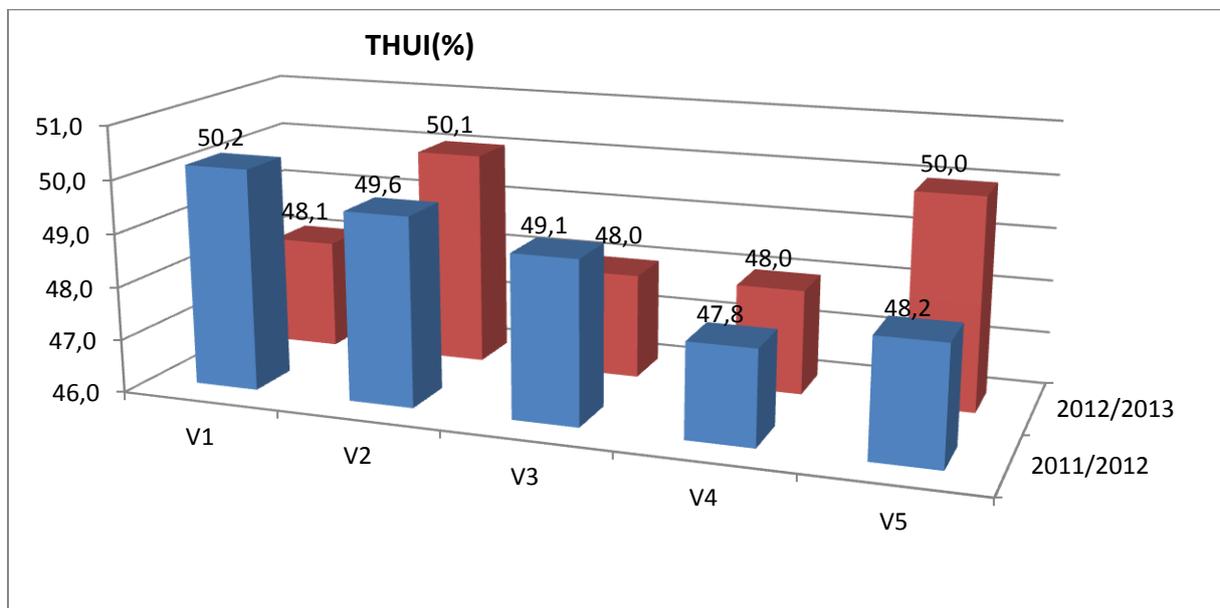


Figure 14. Effet de l'année sur la teneur en huile des variétés de colza.

Tableau 18. L'analyse de la variance pour la teneur en huile des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	0,196	0,196	0,185	0,671
TNT	1	0,361	0,361	0,342	0,565
Variété	4	16,757	4,18925	3,963	0,016*
Année*TNT	1	0,049	0,049	0,046	0,832
Année*Variété	4	17,816	4,454	4,214	0,012*
TNT*Variété	4	7,697	1,92425	1,820	0,164
Année*TNT*Variété	4	4,609	1,15225	1,090	0,388
Résiduel	20	21,14	1,057		
Total	39	68,624			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

b-Rendement en huile

L'analyse statistique (Tableau 19) a permis de déceler un effet significatif de l'année sur le rendement en huile, le rendement moyen obtenu est de l'ordre de 26,5 et 122,3 g/m² respectivement pour l'année 2011/2012 et l'année 2012/2013. Pour l'année 2012/2013 la variété V1=JURA a obtenu le meilleur rendement en huile 149,4 g/m², suivie de la variété V3=FANTAZIA et V4=KABEL avec respectivement de 145,8 et 120,6 g/m². Pour l'année 2011/2012 le rendement en huile varie entre 17,5 et 31 g/m² respectivement pour les variétés V4=KABEL et V2 = INRA CZ 289 (Figure 15).

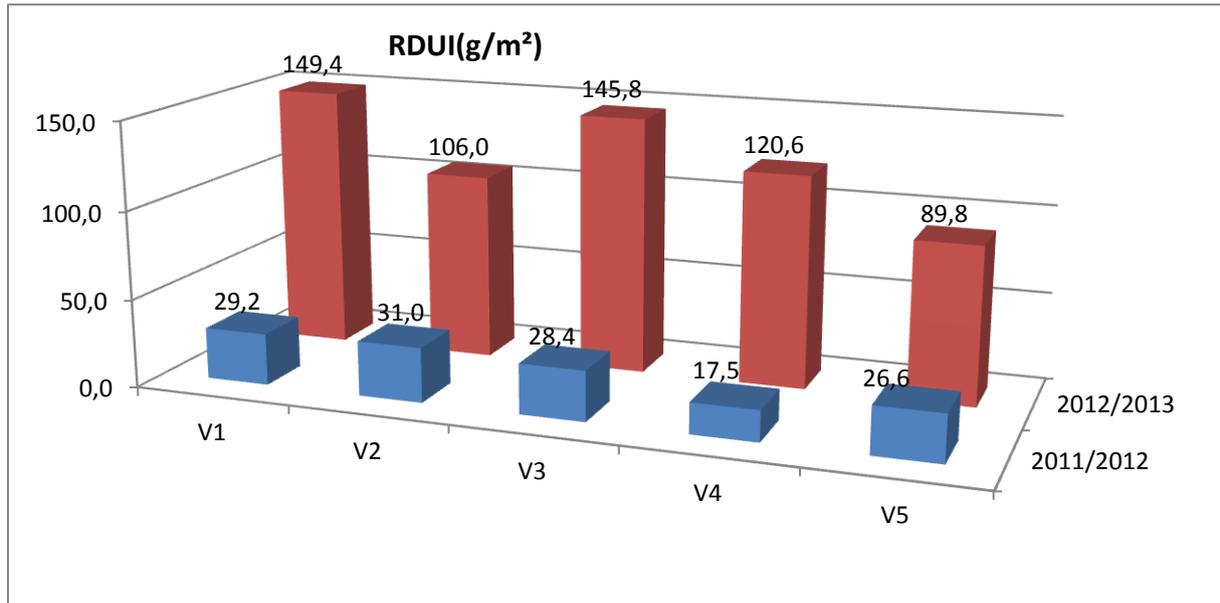


Figure 15. Effet de l'année sur le rendement en huile des variétés de colza.

Tableau 19. L'analyse de la variance pour le rendement en huile des variétés de colza.

source	ddl	SCE	CM	F	P
Année	1	91709,4	91709,4	100,360	0,000***
TNT	1	555,8	555,8	0,608	0,445
Variété	4	5660,8	1415,2	1,549	0,227
Année*TNT	1	1093,1	1093,1	1,196	0,287
Année*Variété	4	5213,9	1303,475	1,426	0,262
TNT*Variété	4	466,9	116,725	0,128	0,971
Année*TNT*Variété	4	980,9	245,225	0,268	0,895
Résiduel	20	18276,1	913,805		
Total	39	123956,7			

***, **, * : effet significatif au seuil de 1%, 1%, et 5% respectivement.

6-1-3. Conclusion

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé 12 variables (paramètres de croissances et développements, le rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation d'eau, et la qualité technologique de l'huile), à l'échelle de 5 variétés étudiées sur deux modes de travail du sol pendant deux campagnes agricoles, par la méthode d'analyse de la variance (ANOVA), Pour tester l'influence significative des facteurs sur chaque variable.

Il ressort de cette étude que l'effet d'année est le facteur le plus influent sur les différentes variables traduit par la différence pluviométrique entre les deux campagnes agricoles 396,9 et 735,6 mm pour l'année 2011/2012 et 2012/2013 respectivement (Figure 5). La différence pluviométrique était très importante, ce qui a engendré cette grande variation des paramètres entre les deux années. C'est-à-dire que la plante de colza a besoin d'une pluviométrie annuelle importante pour faire sa croissance et son développement pour améliorer le rendement.

Le mode de travail du sol n'a pas exprimé d'influence sur la plupart des paramètres étudiés, peut être que cette technique du sol non travaillé à besoin du temps pour s'exprimer (quatre ans ou plus), pour retrouver un sol vivant normal, après l'arrêt du labour et sous-solage.

6-2. APPLICATION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

6-2-1. Introduction

Afin d'analyser les 12 paramètres (paramètres de croissances et développements, rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation d'eau, et la qualité technologique de l'huile) ; et déterminer les facteurs les plus influents, autrement dit rendre l'information moins redondante, pour enrichir et approfondir les connaissances sur les performances de chaque variétés dans différentes conditions soient des variétés obtenues par l'INRA ou importées de l'étranger.

Nous appliquons dans cette partie la méthode dite « ACP » (Chapitre 4). Celle-ci consiste à traiter le tableau de données qui est constitué des variétés dans différentes conditions en lignes, et des différents paramètres en colonnes ce qui nous ramène à une matrice à 20 lignes et 12 colonnes. Nous avons fait appel au logiciel « The Unscrambler » pour le traitement des données et la conception des graphiques.

6-2-2. Données brutes pour l'application de l'ACP

Les données sont sous la forme d'un tableau à 20 lignes et 12 colonnes, que l'on stocke sous la forme d'une matrice X (20*12). L'ACP va procéder au traitement d'un ensemble de variables corrélées en un nombre réduit de facteurs non corrélés.

Le jeu des données est issu des analyses appliquées sur deux types de mode de travail du sol (sol travaillé et sol non travaillé) pour cinq variétés de colza Variété 1 = JURA ; Variété 2 = INRA CZ 289 ; Variété 3 = FANTAZIA ; Variété 4 = KABEL ; Variété 5 = INRA CZ 409) étudiées pendant deux campagnes agricoles (2011/2012 et 2012/2013).

Les individus sont notés comme suit : Année-mode de travail du sol-variété.

Les variables quantitatives sont représentées par les observations et mesures réalisées.

Afin d'accorder la même importance à chaque variable, nous traitons ce tableau de données par une analyse en composantes principales normée (Chapitre 4).

Les données variables individus sont présentées au tableau 20.

Tableau 20. Données brutes (n * p).

	HPL	SIP	RDGM	RDBP	HI	EUEG	EUEB	LRC	VRC	MRC	THUI	RDUI	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1-NT-V1	1	89.5000	66.0500	55.8500	475.0000	12.0000	2.5500	21.6000	14.0000	4.0000	1.7000	49.6000	27.6500
1-NT-V2	2	69.5000	48.9500	57.3000	235.0000	23.7000	2.6000	10.7000	13.0000	3.0000	1.1000	48.6500	27.6500
1-NT-V3	3	64.5000	51.0500	80.2000	330.0000	22.6500	3.6500	15.0000	14.0000	2.0000	1.0000	49.2500	38.9500
1-NT-V4	4	56.5000	125.9000	35.5000	840.0000	4.1500	1.6000	38.2000	11.0000	4.0000	1.7500	48.8500	17.3500
1-NT-V5	5	65.0000	40.2000	57.4500	290.0000	18.5500	2.6000	13.2000	12.0000	2.1000	1.3500	49.0500	28.6000
1-T-V1	6	66.0000	63.9500	60.8000	435.0000	8.7000	1.8500	19.7500	14.0000	2.5500	1.8000	50.7500	30.8000
1-T-V2	7	77.0000	31.7500	68.1000	185.0000	37.9000	3.1000	8.4000	12.0000	1.5000	3.1500	50.4500	34.4000
1-T-V3	8	85.5000	20.1000	36.3000	190.0000	18.5500	1.6500	8.6000	12.0000	1.0000	1.2500	48.8500	17.8000
1-T-V4	9	94.5000	24.9500	37.5000	175.0000	21.2500	1.7000	7.9500	14.0000	1.0000	1.0000	46.7000	17.5500
1-T-V5	10	62.5000	32.7500	52.1000	345.0000	15.5000	2.3500	15.7000	13.0000	3.0000	2.3500	47.3500	24.6500
2-NT-V1	11	152.0000	486.0000	321.0000	688.6000	44.0500	6.4500	13.8000	20.8000	40.0000	12.4000	47.9500	154.0000
2-NT-V2	12	138.8000	273.3000	186.5000	0.0000	21.1500	3.7000	21.7500	19.4000	25.0000	7.5000	50.0000	93.2000
2-NT-V3	13	145.9000	310.7000	274.7000	979.0000	34.5000	5.5000	19.6000	20.0000	35.0000	9.9000	48.2000	132.4500
2-NT-V4	14	144.3000	318.2000	230.7500	623.5000	43.7000	4.6000	12.4500	19.5000	22.5000	9.1000	48.2000	111.1500
2-NT-V5	15	160.4000	316.4000	151.9000	1.1514e+03	17.9000	3.0500	23.0500	20.8000	35.0000	9.7000	50.0000	75.9500
2-T-V1	16	154.0000	505.2000	300.2500	782.5000	38.7500	6.0000	15.6500	23.9500	46.0500	14.2500	48.2000	144.7000
2-T-V2	17	141.1500	267.2000	236.7500	1.2645e+03	18.2000	4.7000	25.3000	22.3500	28.8000	8.6000	50.1000	118.8500
2-T-V3	18	148.5500	313.0000	333.0000	1.1000e+03	30.7000	6.6500	22.0000	23.0000	40.2500	11.4000	47.7500	159.1000
2-T-V4	19	146.4500	321.8500	272.2500	725.0000	37.6000	5.4500	14.5000	22.4500	25.9000	10.4500	47.7500	129.9500
2-T-V5	20	164.1000	319.7500	207.6500	1.3235e+03	15.6000	4.1500	26.4500	23.9500	40.3000	11.1500	49.9500	103.7000

6-2-3. Examen des données

6-2-3-1. Choix du nombre de dimension à étudier

L'inertie des axes factoriels indique d'une part si les variables sont structurées (présence de corrélation entre variables), et suggère d'autre part le nombre de composantes principales à interpréter (Husson et al, 2009). Les deux premiers axes expriment 86,9% de l'inertie totale, en d'autres termes, un pourcentage 86,9% de la variabilité totale du nuage des individus (ou des variables) est représenté par le premier plan (Tableau 21). Ce pourcentage est donc important et le premier plan représente bien la variabilité contenue dans l'ensemble du jeu de données actifs. Les axes 3 et 4 n'expriment que respectivement 6,2 et 2,6% d'inertie et n'apporteront pas beaucoup d'informations. On ne retient donc que les deux premières dimensions pour interpréter l'analyse.

Tableau 21. Pourcentage d'inertie expliquée par les quatre premiers axes de l'ACP.
Comp : Composante.

	pourcentage de la variance	Pourcentage cumulatif de la variance
Comp.1	69,6	69,6
Comp.2	17,3	86,9
Comp.3	6,2	93,1
Comp.4	2,6	95,7

6-2-3-2. Variance résiduelle

Pour un modèle à deux composantes principales, le graphe Residual X-variance (variance résiduelle) a montré que l'individu 1-NT-V4 est atypique, il a une variance résiduelle importante et très influent (levier important) sur l'analyse, alors il doit être écarté de l'analyse.

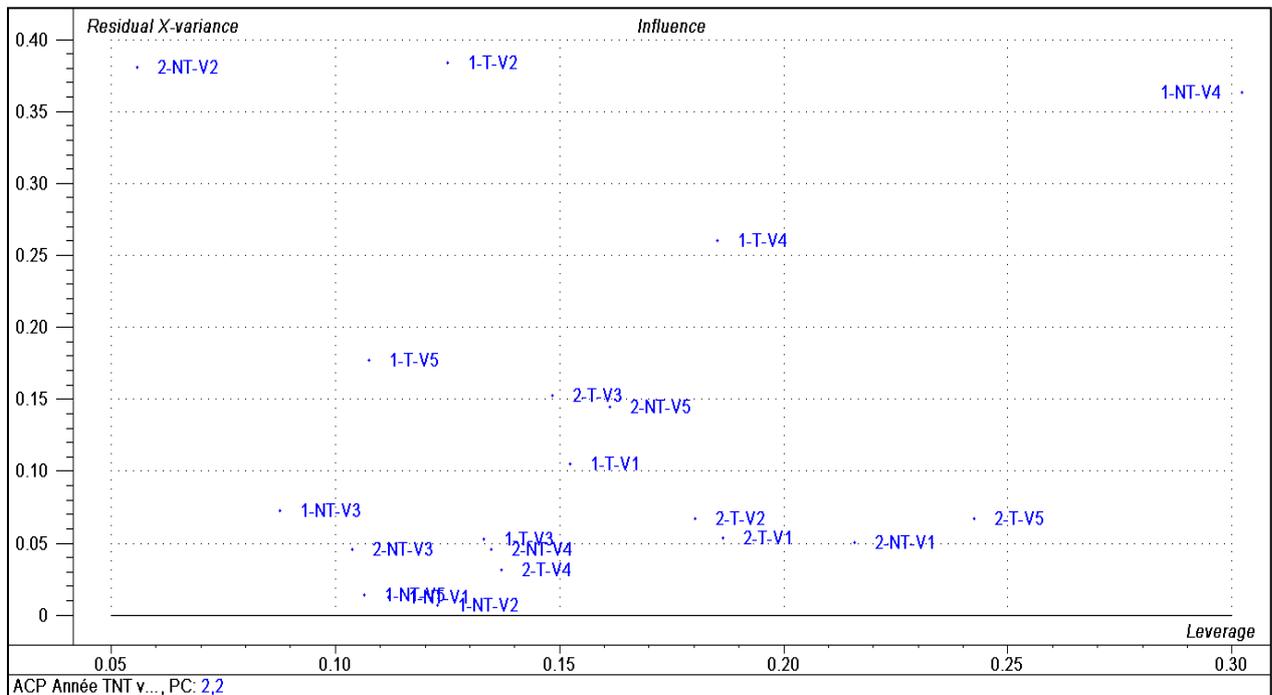


Figure 16. Graphe Residual X-variance.

6-2-4. Matrice des corrélations

En se basant sur les coefficients de corrélation, la matrice (Tableau 22) montre qu'il y a de fortes corrélations entre les 12 variables :

Une corrélation supérieure à 0,9 entre les paramètres de croissances et développements. (Hauteur de la plante, Longueur racinaire, Volume racinaire, Matière racinaire).

Une corrélation de 0,93 entre le nombre de siliques par plante et le rendement grain.

Une corrélation importante 0,8 environ entre l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain et les paramètres de croissances et développements.

Une corrélation supérieure à 0,9 entre le rendement en huile et les paramètres de croissances et développements, ainsi, le rendement grain et l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain.

Tableau 22. Matrice de corrélation.

	HPL	SIP	RDGM	RDBP	HI	EUEG	EUEB	LRC	VRC	MRC	THUI	RDUI
HPL	1,000											
SIP	0,913	1,000										
RDGM	0,873	0,935	1,000									
RDBP	0,739	0,658	0,671	1,000								
HI	0,450	0,585	0,642	0,105	1,000							
EUEG	0,754	0,864	0,965	0,609	0,712	1,000						
EUEB	0,508	0,410	0,400	0,851	-0,372	0,305	1,000					
LRC	0,940	0,922	0,913	0,792	0,391	0,819	0,600	1,000				
VRC	0,948	0,959	0,925	0,773	0,452	0,846	0,553	0,957	1,000			
MRC	0,946	0,977	0,949	0,720	0,571	0,876	0,453	0,953	0,979	1,000		
THUI	-0,081	-0,144	-0,231	0,216	-0,422	-0,267	0,433	-0,083	-0,095	-0,135	1,000	
RDUI	0,871	0,938	0,999	0,649	0,628	0,961	0,420	0,920	0,931	0,953	-0,206	1,000

6-2-5. Choix du nombre de dimension à étudier sans l'individu atypique

Les deux premiers axes expriment 88,9% de l'inertie totale, Les axes 3 et 4 n'expriment que respectivement 5,16 et 2,42% d'inertie et n'apporteront pas beaucoup d'informations. On ne retient donc que les deux premières dimensions pour interpréter l'analyse.

Tableau 23. Pourcentage d'inertie expliquée par les quatre premiers axes de l'ACP sans individu atypique. Comp : Composante.

	pourcentage de la variance	Pourcentage cumulatif de la variance
Comp.1	71,63	71,63
Comp.2	17,24	88,87
Comp.3	5,16	94,03
Comp.4	2,42	96,45

6-2-6. Etude des variables

6-2-6-1. Coordonnées factorielles des variables

L'examen des coordonnées factorielles permettra de visualiser les corrélations entre les variables et les facteurs du plan.

Toutes les variables sont assez bien représentées sur le plan 1-2. On lit cette qualité de représentation sur le tableau des coordonnées factorielles des variables (Tableau 24), ce qui veut dire que ces variables sont bien corrélées avec les deux facteurs constituant ce plan.

Tableau 24. Coordonnées factorielles des variables.

	PC_01	PC_02
HPL	-0,939	0,089
SIP	-0,965	-0,059
RDGM	-0,976	-0,132
RDBP	-0,768	0,416
HI	-0,556	-0,743
EUEG	-0,916	-0,236
EUEB	-0,498	0,817
LRC	-0,966	0,153
VRC	-0,978	0,096
MRC	-0,986	-0,017
THUI	0,154	0,740
RDUI	-0,980	-0,107

6-2-6-2. Représentation du nuage des variables

La figure 17 présente la projection des variables étudiées (12 variables) les paramètres de croissance et développement, le rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation d'eau, et la qualité technologique de l'huile. On peut voir notamment sur ce graphique que les variables : Hauteur de la plante ; Longueur racinaire ; Volume racinaire ; Matière racinaire ; Nombre de siliques par plante ; Rendement grain ; Rendement en huile ; Efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain, sont très proches voire confondues, ceci est due à la forte corrélation positive entre elles, Cette première composante principale est formée par tout ce qui est en relation avec l'augmentation du rendement grain.

Les variables qui ont contribué à la formation de l'axe 2 sont : Indice de récolte ; Efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement biologique ; Teneur en huile. Cette composante peut être caractérisée par les variétés qui ont une teneur en huile importante.

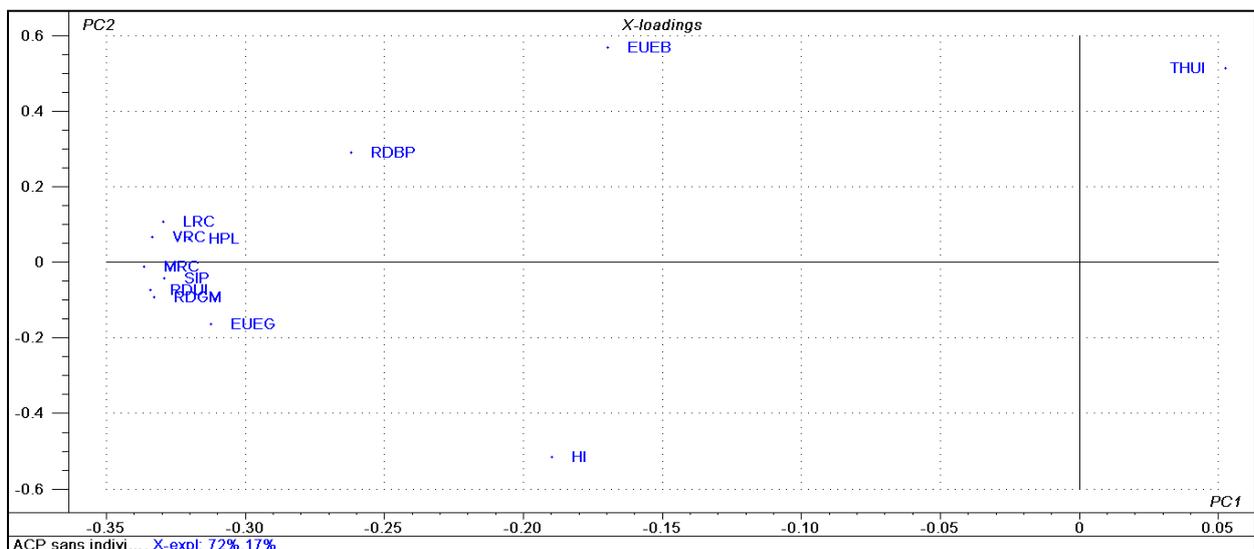


Figure 17. Présentation du nuage des variables dans le plan factoriel (1-2).

6-2-7. Etude des individus

6-2-7-1. Coordonnées factorielles des individus

Les coordonnées factorielles des individus sont obtenues par une projection orthogonale de chaque individu sur l'axe factoriel. Le repérage des individus contribuant à la formation d'un axe correspond au coefficient **le plus élevé en valeur absolue**. Les résultats sont illustrés dans le tableau 25 ci-dessous :

Tableau 25. Coordonnées factorielles des individus.

	PC_01	PC_02
1-NT-V1	2,404	1,504
1-NT-V2	2,949	-0,772
1-NT-V3	2,454	-0,093
1-NT-V4	-	-
1-NT-V5	3,066	-0,100
1-T-V1	2,908	1,983
1-T-V2	2,643	-0,981
1-T-V3	3,475	-0,551
1-T-V4	3,138	-1,661
1-T-V5	2,896	-0,376
2-NT-V1	-3,783	-1,890
2-NT-V2	-0,491	0,830
2-NT-V3	-2,772	-0,385
2-NT-V4	-1,717	-1,676
2-NT-V5	-1,582	2,133
2-T-V1	-4,115	-1,114
2-T-V2	-2,230	2,163
2-T-V3	-3,894	-0,200
2-T-V4	-2,566	-1,385
2-T-V5	-2,782	2,573

Les individus qui ont le plus contribué à la formation de l'axe 1 sont :

1-NT-V1 ; 1-NT-V2 ; 1-NT-V3 ; 1-NT-V5 ; 1-T-V1 ; 1-T-V2 ; 1-T-V3 ; 1-T-V4 ; 1-T-V5 ;
 2-NT-V1 ; 2-NT-V3 ; 2-T-V1 ; 2-T-V3 ; 2-T-V4.

Les individus qui ont le plus contribué à la formation de l'axe 2 sont :

2-NT-V2 ; 2-NT-V5.

6-2-7-2. Projection des individus dans le plan factoriel

L'analyse de répartition des individus (Année-Mode de travail du sol-Variété) par rapport au plan factoriel constitué par l'axe 1 et 2 permet de remarquer que la plupart des individus sont éloignés du centre de gravité du nuage, et puisque tous les individus ont le même poids, ils ont contribué plus à la confection des axes. Cependant, la première composante principale sépare mieux les individus, elle les sépare entre l'année 1 et 2. Les deux premières composantes ne séparent pas entre le mode de travail du sol puisqu'il est dispersé dans les 2 directions du plan factoriel.

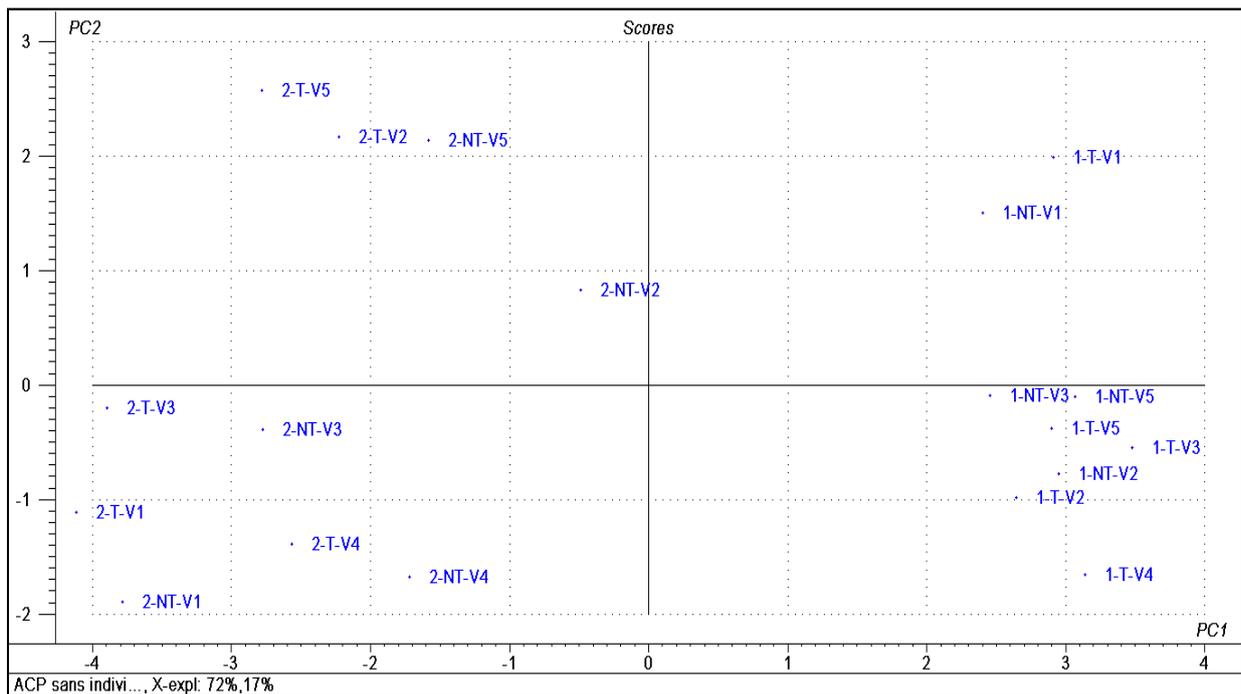


Figure 18. Projection du nuage des individus dans le plan factoriel (1-2).

6-2-8. Lien entre les deux études

Comme en travail sur un même tableau de données, il existe alors un lien entre les deux études. Lors de la construction des groupes des individus, on aura besoin d'utiliser les variables afin de caractériser ces différents groupes.

L'examen de la figure 19 permettra d'identifier les groupes d'individus ayant pris des valeurs proches sur certaines variables.

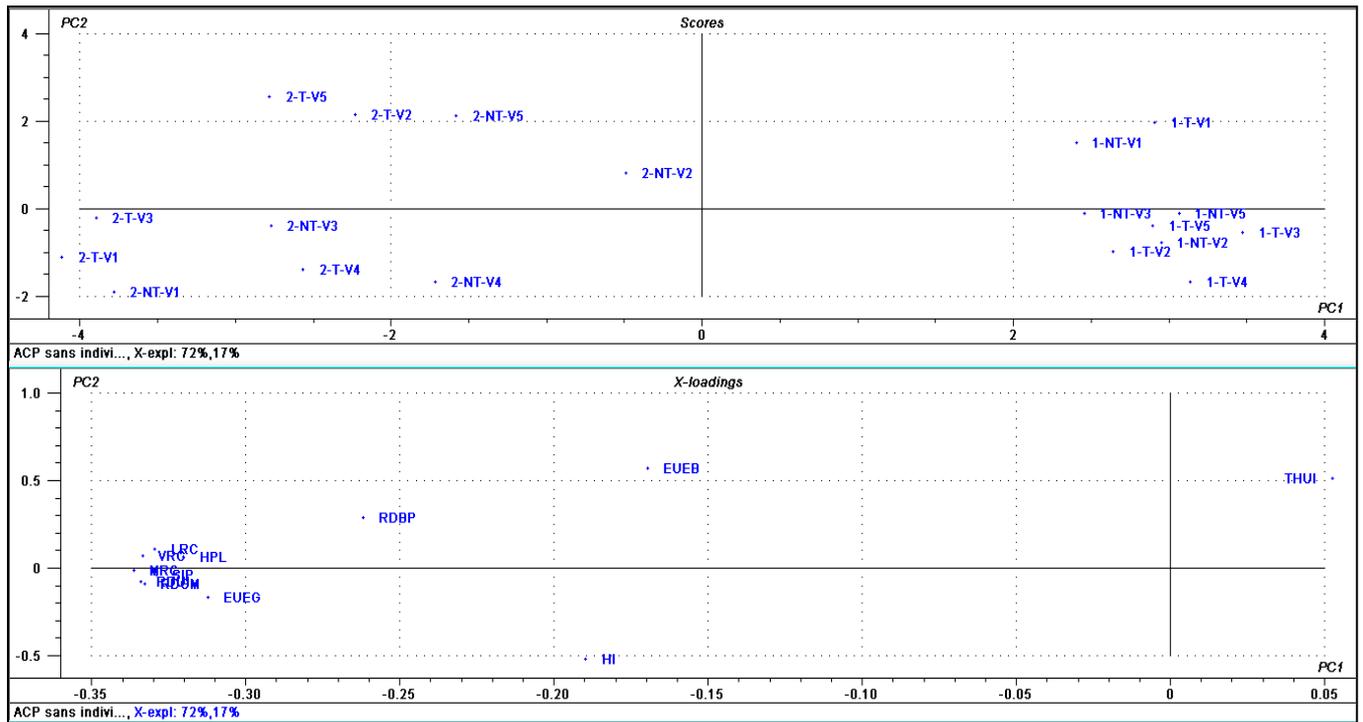


Figure 19. Représentation des variables et individus dans le plan factoriel (1-2).

L'analyse de répartition des individus (Année-Mode du travail du sol-Variété) par rapport au plan factoriel constitué par l'axe 1 et 2 permet de grouper les individus en 4 groupes différents :

Les deux premiers groupes sont des variétés cultivées dans l'année 2011/2012 et les deux derniers groupes dans l'année 2012/2013. Et puisque, on a remarqué qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux modes du travail du sol, les groupes d'individus sont rassemblées de la façon suivante :

Groupe I : il rassemble 4 variétés caractérisées par un faible rendement en huile par rapport aux autres groupes (entre 18 et 39 g/m²), un rendement grain (en moyenne de 55,9 g/m²), et une teneur en huile de (48,8%). Ces variétés sont : variétés 2 = INRA CZ 289 ; variété 3 = FANTAZIA ; variété 4 = KABEL ; variété 5 = INRA CZ 409.

Groupe II : il est caractérisé par la variété 1 = JURA, avec un rendement en huile faible (en moyenne de 29,2 g/m²), et une teneur en huile assez forte (en moyenne de 50.2%). Les paramètres de croissance et développement pour ces deux groupes sont très faibles.

Groupe III : il est constitué par les variétés importées d'Espagne variété 1 = JURA ; variété 3 = FANTAZIA ; variété 4 = KABEL. Elles ont une teneur en huile la plus faible (en moyenne de 48%), mais un rendement en huile le plus élevé (varie entre 111 et 159 g/m²).

Groupe IV : rassemble 2 variétés et qui sont celles obtenues par l'INRA : variété 2 = INRA CZ 289 ; variété 5 = INRA CZ 409 ; caractérisées par des paramètres de croissances élevés, une teneur en huile de (50%), et un rendement en huile (variant entre 93 et 118 g/m²). Ces deux groupes ont une efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain importante.

6-2-9 Conclusion

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé 12 variables (paramètres de croissances et développements, le rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation d'eau, et la qualité technologique de l'huile), à l'échelle de 5 variétés étudiées sur deux modes de travail du sol pendant deux campagnes agricoles, par la méthode d'analyse en composantes principales (ACP).

En ACP, il ne suffit pas d'avoir un tableau croissant des variables quantitatives et des individus pour l'appliquer ; encore faut-il que ce tableau vérifie au préalable la factorisation des données. Celles-ci consistent à vérifier la présence d'un lien entre les variables par la présence de corrélation qui nous permettra d'extraire les composantes principales.

Par ailleurs, les résultats des corrélations montrent qu'il existe de fortes corrélations entre les paramètres de croissances et développements et le rendement en huile, ainsi, l'efficacité d'utilisation d'eau pour le rendement grain. La teneur en huile n'a pas de corrélation importante avec les différents paramètres, ce qui justifie le choix de ces axes.

D'autres part, l'examen des graphiques des variables individus a permis d'identifier les groupes d'individus ayant pris des valeurs proches sur certaines variables. C'est-à-dire que les individus appartenant aux différents groupes constitués sont ceux qui ont participé à la présence de corrélation entre les différentes variables, et comme on a constaté que le facteur mode du travail du sol n'a pas d'influence significative sur les variables étudiées, la séparation entre individus se fait seulement au niveau des deux années comme la répartition des individus le montre.

Donc, le changement climatique traduit par la pluviométrie durant les deux campagnes agricoles ont permis d'avoir cette différence entre les groupes des variétés.

L'année 2011/2012 : durant cette année et vu la faible pluviométrie enregistrée, on remarque que l'efficacité d'utilisation d'eau est faible pour les deux groupes de variétés cultivées, et par conséquent un faible développement et croissance de la plante de colza.

L'année 2012/2013 : la pluviométrie enregistrée pendant cette année était importante, ce qui a influencé sur l'efficacité d'utilisation d'eau et par conséquent, sur le développement végétatif de la plante de colza, et ce pour les deux groupes variétaux soit pour les variétés de l'INRA ou celles importées de l'étranger. La différence entre ces variétés est plus marquée pendant cette année.

CONCLUSION GENERALE

Au Maroc, le colza est appelé à jouer, à côté du tournesol, un rôle important dans la sécurité alimentaire en matière d'huile végétale. Aussi, le principal objectif du programme d'amélioration du colza consiste à diversifier et développer un matériel génétique productif et de qualité requise. Les critères de sélection portent, essentiellement, sur le rendement en grain, la teneur en huile et la qualité de l'huile et du tourteau de la graine. Le nombre de siliques par plante et le rendement en grain par plante se sont avérés des indices pertinents de sélection pour l'amélioration de la productivité du colza.

En s'inspirant des travaux de différentes méthodes suscités, tout particulièrement pour l'analyse des facteurs influençant la culture du colza à partir des statistiques, nous avons utilisé la méthode d'analyse de la variance pour identifier les différents facteurs influents, puis nous avons procédé au traitement du tableau de données par la méthode d'analyse en composantes principales. Cette étude nous a permis d'analyser les résultats, et d'en sortir ce qui suit :

Les deux variétés marocaines obtenues par l'INRA ont montré de bonnes performances en matière de rendement en grain et de teneur en huile. Dans des environnements favorables, et au niveau des essais menés dans les stations expérimentales de l'INRA, ces deux variétés ont pu produire plus de 190 g/m² et 50% pour ces deux caractères, respectivement.

Grâce au progrès génétique assuré par ces deux variétés marocaines de colza, notre pays aura l'avantage, d'une part, de produire sa propre semence à un coût inférieur à celui de la semence importée et, d'autre part, de garantir un certain niveau d'autonomie et de sécurité alimentaire en matière d'huiles de table.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

NABLOUSSI A. (2015). Amélioration Génétique du Colza. Enjeux et Réalisations pour un Développement Durable de la Filière. I.N.R.A Meknès.

HAMAL A. (2005). Elaboration des Bases de Gestion Intégrée du Brome Raide (*Bromus rigidus* Roth.) Dans la Culture de Blé (*Triticum* spp.) dans le Sais, Maroc. Thèse, I.A.V. Hassan II, Rabat.

BOULAICH M. (1998). Lutte Intégrée contre le Brome Raide (*Bromus rigidus* Roth..) dans une Culture de Blé Dur (*Triticum durum* Desf. AU SAIS). Mémoire de 3^{ème} cycle, E.N.A-Meknès.

GUETTAA I. (2010). Etude du Comportement de Trois Variétés de Colza (*brassica napus*) dans les Conditions du Haut Cheliff. Centre universitaire de Khemis-Miliana - Ingénieur d'état en Agronomie spécialité Phytotechnie.

BERNARD C. (2005). Modèles d'Analyse de Variance avec STATISTICA, Génistat conseils inc, 2005. ANOVA avec trois facteurs.

MILOUDI N. (2014). Contribution à l'Etude de la Vulnérabilité des Réservoirs en Béton par Analyse des Composantes Principales. Mémoire de Magister, Ingénieur d'état Génie civil. Géotechnique et environnement.