

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE

قاصدي مرباح

KASDI MERBAH



فرع التكنولوجيا الغذائية

DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences. Spécialité :
Sciences Alimentaires

**Essai d'amélioration des potentialités physiologiques et
technologiques d'une variété de blé par ionisation aux
rayons gamma**

Réalisé par :
Mme Fernane ép Meliani Samia

Encadré par :
Mr Ancer Brahim

Présenté devant un jury composé de :

Mr Benchabane Othmane	Professeur	ENSA	Président
Mme Yahiaoui Kariam	Professeur	UMBB	Examinatrice
Mme Hadjadj Naima	MCA	USDB	Examinatrice
Mr Ancer Brahim	MCA	ENSA	Promoteur

Année universitaire 2021/2022

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes parents, que dieu leur prête santé et longue vie ;

*Mon compagnon de route : Mon mari, puisse dieu nous unir encore de
longues années, en santé et en prospérité ;*

*Mes enfants : Aya, Abdeshakim et Soumia, que dieu les protège et les guide
dans le bon chemin ;*

À la mémoire de ma sœur, puisse dieu l'accueillir en son vaste paradis ;

À mon frère et mes sœurs ;

À tout ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail ;

Merci

Samia

REMERCIEMENTS

En premier lieu et avant toute autre chose, louange à dieu le tout puissant de m'avoir donné courage et volonté à arriver à accomplir et à finaliser ce travail

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier, Mr Ancer Brahim, ancien maître de conférence à l'ENSA d'El Harrach, de m'avoir encadré et orienté ;

Je remercie également, Mr Benchabane Othmane, professeur à l'ENSA d'El Harrach, d'avoir accepté de présider le jury, ainsi que Mme Yahiaoui Karima, professeur à l'UMBB de Boumerdès, et Mme Hadjadj Naima, maître de conférence à l'USDB de Blida, d'avoir exprimé leur disponibilité à examiner ce travail ;

Ma reconnaissance et mes sincères remerciements vont aussi à mes étudiantes : Debbah Khaoula, Lekhel Nesrine, Nader Hassina, Bendjabou Wafa, Djeddari Rahma et Eski Fatma Zohra, d'avoir contribué à la réalisation de l'expérimentation sur terrain et de certaines analyses.

Ma gratitude va aussi à mes collègues : Mme Akrèche, S, maître de conférence à l'USTHB, Mme Brahmi, F, maître de conférence à l'université Abderrahmane Mira de Béjaïa, ainsi que Mme Abdellaoui, Z, maître de conférence à l'USDB de Blida, pour leur aide à analyser statistiquement les données.

Je n'oublierai pas à la fin d'exprimer mes profonds respects et mes remerciements au personnel et travailleurs de la station expérimentale de l'ENSA d'El Harrach, ainsi qu'à ceux du groupe SIM, qui nous ont aidé à la réalisation de l'étude ;

En dernier lieu, je remercie tous ceux qui m'ont apporté un soutien moral pour surmonter les moments difficiles tout au long de dix longues années pour arriver enfin au terme de ce travail.

Un grand merci

Samia

Résumé

L'objectif de cette étude était de déterminer les effets de diverses doses de rayonnements ionisants gamma sur les paramètres physiologiques de semences d'une variété de blé tendre (Anza), ainsi que sur les propriétés technologiques de la farine issue de ce blé, afin de rechercher l'impact des doses appliquées sur l'amélioration de ces potentialités et de tirer des conclusions notamment pour les doses pouvant être aptes à contribuer à améliorer ces caractéristiques et par conséquent à être appliquées dans les essais d'amélioration des variétés locales de blé, entre autre la variété (Anza).

Pour cela, une expérimentation a été menée à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach (Alger, Algérie), en évaluant la croissance et les composantes de rendement d'une culture, sur deux années consécutives, de cette variété. Les graines ont été irradiées avec des rayons gamma de 0,10, 0,15 et 0,20 KGy (KiIoGry), tandis que la dose de 0KGy a été retenue comme témoin. Des paramètres technologiques ont été étudiés, à savoir : le taux de gluten, l'indice de sédimentation, l'indice de chute de Hagberg et l'Alvéographe de Chopin. Avant cela, une analyse biochimique de la teneur en eau, en protéines et en amidon, en relation avec ces paramètres a été effectuée.

Les résultats ont montré que la germination du blé n'a pas été affectée par l'ionisation, les grains testés ont tous germé. La hauteur de la tige la plus marquée a été donnée par le témoin pendant les deux années de culture. A la première année, la dose de 0,20KGy et le témoin ont manifesté la meilleure longueur de l'épi (8,97cm). Le plus grand nombre de pieds levés/m² a été noté à la deuxième année avec le blé traité à 0,20KGy (149). Le nombre le plus élevé d'épis /m² est obtenu par les échantillons irradiés à 0,20 KGy et le témoin a donné le plus grand nombre de grains par épi, alors qu'une amélioration du poids de 1000 grains a été aussi constatée à 0,20KGy. La dose de 0,20KGy a également produit le meilleur rendement en grains à la récolte des deux années (56 et 55q/ha). Il y a eu une interaction entre l'année de culture et la dose d'ionisation pour le nombre de pieds levés et le nombre d'épis/m². Des corrélations entre certains paramètres ont été notées, dont celle enregistrée entre la hauteur de la tige et le nombre de pieds levés par mètre carré, ainsi qu'entre le rendement en grains et le nombre d'épis par mètre carré.

Les faibles doses de rayons gamma, notamment la dose de 0,20 KGy ont contribué à l'amélioration des caractéristiques morphologiques et agronomiques de la variété locale de blé

tendre (Anza) cultivée en Algérie, à savoir : la longueur de l'épi, le nombre de pieds levés et d'épis/m², le poids de 1000 grains et le rendement en grains.

L'analyse biochimique a permis de constater une légère variation de la teneur en eau, avec des teneurs plus élevées dans les grains du blé de la première année, bien que la teneur la plus faible a été notée en cette période dans les échantillons témoins (13,13%). La farine a présenté une teneur en eau variant entre 13,44% et 15,23% avec des valeurs toujours plus faibles à la deuxième année. Une stabilité dans la teneur en protéines est constatée, la valeur la plus élevée est observée à la dose de 0,20 KGy (année 2) avec une moyenne 14,9%, contre la plus basse à 13,2% (année 1) pour les échantillons témoin. Enfin, une diminution dans les teneurs en amidon a été remarquée avec l'augmentation des doses d'ionisation, elles varient entre 61,9% et 64,5%. Dans l'ensemble, l'analyse biochimique a révélé une stabilité dans les paramètres mesurés, du fait que les valeurs obtenues restaient toujours dans la gamme des normes fixées.

Les analyses technologiques ont montré que la farine issue de ce blé, est de type hypo-diastasique, une amélioration de la teneur en gluten humide est notée dans les deux années, la plus élevée a été obtenue chez les échantillons traités à 0,20KGy (47,36%). L'alvéographe a montré une amélioration de la force boulangère avec l'augmentation de la dose d'ionisation pour les deux années. A la dose de 0,10KGy, la farine issue du blé de la première année, a présenté la valeur la plus élevée (161.10^{-4} Joules). La ténacité, le gonflement et avec eux l'extensibilité ont également augmenté en fonction des doses d'ionisation. Le traitement ionisant a influé sur les valeurs de l'indice de chute de Hagberg, la valeur la plus basse a été enregistrée à la dose de 0,20KGy (année2) avec une moyenne de 355s. Des variations dans l'indice de sédimentation ont été observées entre les deux années, avec une élévation de ce dernier à la dose de 0,20KGy dans la farine de la deuxième année de culture (de 42,1ml à 50,2ml). Des interactions ont été constatées, ainsi que des corrélations entre les différents paramètres technologiques et biochimiques mesurés. Ces résultats nous mènent à conclure que le traitement aux rayons ionisants gamma influe sur le comportement des pâtes au cours de la panification et que les doses faibles, notamment de 0,10 et 0,20 KGy pourraient avoir un impact positif sur l'amélioration des potentialités technologiques de la variété de blé tendre (Anza).

Mots clés :

Croissance, blé, ionisation, gamma, doses, morphologie, rendement, potentialités technologiques.

Abstract

The objective of this study was to determine the effects of various doses of gamma ionizing radiations on the physiological parameters of seeds of a common wheat variety (Anza), as well as on the technological properties of the flour resulting from this wheat, in order to research the impact of the applied doses on the improvement of these potentialities and to come conclusions in particular for the doses being able to contribute to improve these characteristics and consequently to be applied in the trials of improvement of the local varieties of wheat, among others the variety (Anza)

For this purpose, an experiment was carried out at the experimental station of the National High Agronomic School, El Harrach (Algiers, Algeria), by evaluating the growth and yield components of a crop, over two consecutive years, of this variety. Seeds were irradiated with gamma rays of 0.10, 0.15 and 0.20 KGy (KiIoGry), while the dose of 0KGy was retained as control. Technological parameters were studied, namely: gluten content, sedimentation index, Hagberg falling index and Chopin Alveograph. Before that, a biochemical analysis of the water, protein and starch content in relation to these parameters, was carried out.

The results showed that the germination of wheat was not affected by the ionization, the tested grains all germinated. The most noted stem height was given by the control in both years of crop. In the first year, the 0.20KGy dose and the control showed the best spike length (8.97cm). The highest number of raised feet/m² was noted in the second year with the 0.20KGy wheat (149). The highest number of spikes/m² was obtained by the samples irradiated at 0.20 KGy and the control gave the highest number of grains per spike, while an improvement in 1000 grain weight was also noted at 0.20KGy. The 0.20KGy dose also produced the highest grain yield at harvest in both years (56 and 55q/ha). There was an interaction between crop year and ionization dose for number of raised feet and number of spikes/m². Correlations between some parameters were noted, including between stem height and number of raised feet per square meter, and between grain yield and number of spikes per square meter.

The low doses of gamma rays, especially the dose of 0.20 KGy contributed to the improvement of morphological and agronomic characteristics of the local common wheat variety (Anza) cultivated in Algeria, namely: the spike length, the number of raised feet and spikes /m², the weight of 1000 grains and the grain yield.

The biochemical analysis showed a slight variation in the water content with higher values in the first year wheat seeds, although the lowest content was noted in this period in the control

samples (13.13%). The flour presented a water content varying between 13.44% and 15.23% with always lower values in the second year. A stability in the protein content was observed, the highest value was noted at the dose of 0.20 KGy (year 2) with an average of 14.9%, against the lowest at 13.2% (year 1) for the control samples. Finally, a decrease in starch content was noticed with increasing ionization doses, varying between 61.9% and 64.5%.

The technological analyses showed that the flour from this wheat is hypo-diastatic, an improvement in the wet gluten content was noted in both years, the highest was obtained in the samples treated at 0.20KGy (47.36%). The alveograph showed an improvement in baking strength with increasing ionization dose in both years. At the 0.10KGy dose, the flour from the first year wheat showed the highest value (161.10-4Joules). Tenacity, swelling and with it extensibility also increased as a function of the ionization doses. The ionizing treatment affected the values of the Hagberg falling index, the lowest value was recorded at the dose of 0.20KGy (year2) with an average of 355s. Variations in the sedimentation index were observed between the two years, with an elevation of this at the 0.20KGy dose in the flour of the crop second year (from 42.1ml to 50.2ml). Interactions were observed, as well as correlations between the different technological and biochemical parameters measured. These results lead us to conclude that gamma ionizing radiation treatment influences the behavior of doughs during bread making and that low doses, namely 0.10 and 0.20 KGy, could have a positive impact on the improvement of technological potentialities of the common wheat variety (Anza).

Key words:

Growth, wheat, ionization, gamma, doses, morphology, yield, technological potentialities.

كان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد تأثير الجرعات المختلفة من إشعاع جاما المؤين على المعايير الفسيولوجية لبذور من القمح اللين (أنزة)، وكذلك على الخصائص التكنولوجية للدقيق المصنوع من هذا القمح، من أجل بحث تأثير الجرعات المطبقة على تحسين هذه الإمكانيات واستخلاص النتائج، لا سيما بالنسبة للجرعات التي قد تكون قادرة على المساهمة في تحسين هذه الخصائص وبالتالي يتم تطبيقها في تجارب تطوير الأنواع المحلية من القمح، من بينها (أنزة).

لهذا الغرض، أجريت تجربة في المحطة التجريبية للمدرسة الوطنية للزراعة، الحراش (الجزائر العاصمة، الجزائر)، من خلال تقييم مكونات النمو والإنتاجية للمحصول، على مدى عامين متتاليين، من هذا الصنف. تم إشعاع البذور بأشعة جاما (0,10 , 0,15 و 0,20 كيلو غرامي) والجرعة 0 كيلو غرامي اخذت كشاهد. تمت معاينة الخصائص التكنولوجية للدقيق المستخلص من هذا القمح المشع، كمية الغلوتين، مؤشر الترسيب ومؤشر هبوط هاجبرغ، وخصائص العجين. كما تم إجراء تحليل كيميائي حيوي لمحتوى الماء والبروتين والنشاء.

أظهرت النتائج أن إنبات القمح لم يتأثر بالتأين، حيث أن الحبوب المنتشة كلها نامية. أعطى الشاهد ارتفاع الساق الأكثر بروزًا خلال عامين من الزرع. في السنة الأولى، أظهرت الجرعة 0,20 كيلو غرامي والشاهد أفضل طول للسنابل (8,97 سم). لوحظ أكبر عدد من النباتات النامي / م² في السنة الثانية عند القمح المعالج بجرعة 0,20 كغ (149). تم الحصول على أكبر عدد من السنابل / م² من خلال العينات المشعة عند 0,20 كغ، وأعطت المجموعة الشاهدة أكبر عدد من الحبوب في السنبلة الواحدة، بينما لوحظ تحسن في وزن 1000 حبة عند 0,20 كغ. وأنتجت جرعة 0,20 كغ أكبر محصول من الحبوب عند الحصاد في كلا العامين (56 و 55 قنطار/ هكتار). كان هناك تفاعل بين سنة الزراعة وجرعة التأين لعدد النباتات النامي وعدد السنابل/ م². ولوحظ وجود علاقة ارتباط بين معايير معينة، بما في ذلك تلك المسجلة بين ارتفاع الساق وعدد النباتات النامي لكل متر مربع، وكذلك بين محصول الحبوب وعدد السنابل لكل متر مربع.

ساهمت الجرعات المنخفضة من أشعة جاما، وخاصة جرعة 0,20 كغ، في تحسين الخصائص المورفولوجية والزراعية للصنف المحلي من القمح المشع (أنزة) المزروع في الجزائر، وهي: طول السنابل، وعدد النباتات النامي والسنابل/ م²، وزن 1000 حبة ومحصول الحبوب.

أظهر التحليل البيوكيميائي تباينًا طفيفًا في محتوى الماء مع وجود مستويات أعلى في حبوب القمح في السنة الأولى، على الرغم من ملاحظة أدنى مستوى خلال هذه الفترة في عينات المقارنة (13.13%). أظهر الدقيق محتوى مائي يتراوح بين 13.44% و 15.23% مع قيم أقل في السنة الثانية. لوحظ استقرار في محتوى البروتين و لوحظت أعلى قيمة عند الجرعة 0,20 كغ (السنة 2) بمتوسط 14.9%، مقابل أدنى مستوى عند عينات المقارنة 13.2% (السنة 1). أخيرًا، لوحظ انخفاض في محتوى النشاء مع زيادة جرعات التأين، حيث تراوحت بين 61.9% و 64.5%.

أظهرت التحليلات التكنولوجية أن الدقيق المستخلص من هذا القمح هو من النوع ذو الكمية القليلة من الدياستاز، وقد لوحظ تحسن في محتوى الغلوتين الرطب في العامين، حيث تم الحصول على أعلى نسبة في العينات المعالجة عند 0,20 كغ (47.36%). أظهر خصائص العجينة تحسنًا في قوة الخبز مع زيادة جرعة التأين لكلا العامين. عند جرعة 0,10 كيلو غرامي، أعطى دقيق القمح في السنة الأولى أعلى قيمة (161.10 - 4 جول).

كما زادت الصلابة والانتفاخ ومعها التمدد اعتمادًا على جرعات التآين. أثرت المعالجة المؤينة على قيم مؤشر هبوط هاجبرغ، وسجلت أقل قيمة عند جرعة 0.20 كيلو غرام (السنة 2) بمتوسط 355 ثانية. لوحظت اختلافات في مؤشر الترسيب بين سنتي الزراعة، مع ارتفاع عند الجرعة 0.20 كيلو غرام في دقيق السنة الثانية (من 42,1 مل الى 50,2 مل).

لوحظت تفاعلات، فضلا عن ارتباطات بين مختلف المتغيرات التكنولوجية والكيميائية الحيوية التي تم قياسها.

تقودنا هذه النتائج إلى استنتاج أن استعمال أشعة جاما المؤينة يؤثر على سلوك العجين أثناء صنع الخبز وأن الجرعات المنخفضة، على وجه الخصوص 0.10 و 0.20 كغ، يمكن أن يكون لها تأثير إيجابي على تحسين الإمكانيات التكنولوجية لصنف القمح اللين (انزرة).

الكلمات الدالة:

النمو، القمح، التآين، جاما، الجرعات، المورفولوجيا، المحصول، الإمكانيات التكنولوجية.

Table des matières

	Page
Introduction	1
Partie I. Contexte bibliographique	4
Chapitre I. Le blé tendre	4
Historique	4
1. Importance économique	4
2. Taxonomie	6
3. Structure, développement et composition du grain	6
3.1. Structure histologique	6
3.2. Développement du grain	7
4. Cycle de développement du blé tendre	10
4.1. Période végétative	10
4.2. Période de reproduction	11
4.3. Période de formation et de maturation	11
5. Composition chimique du blé	13
5.1. Amidon	13
5.2. Eau	13
5.3. Protéines	13
5.4. Lipides	14
6. Autres composants	14
Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments	15
I. Ionisation et rayons gamma	15
Historique	15
I.1. Définition de l'irradiation	16
I.2. Rayonnements ionisants	16
I.3. Rayons gamma	17
I.4. Unité de dose et dosimétrie	19
I.5. Mode d'action des rayons gamma et principe de l'ionisation	20
II. Application de l'ionisation gamma en agroalimentaire	21
II.1. Processus de l'ionisation des aliments	22

II.2. Salubrité des aliments ionisés et aspects réglementaires	24
II.3. Acceptabilité des produits alimentaires ionisés	25
III. Effets de l'ionisation gamma sur les produits alimentaires	26
IV. Effets de l'ionisation gamma sur les plantes et le blé	28
IV.1. Effets sur la germination	29
IV.2. Effets sur la croissance et le développement	30
IV.3. Effets biochimiques et physiologiques	31
Partie II. Etude expérimentale	33
Chapitre I. Matériel et méthodes	33
1. Objectif et lieu de travail	33
2. Matériel végétal et démarche expérimentale	33
2.1. Etude des paramètres physiologiques et suivi du cycle végétatif	34
2.1.1. Dispositif expérimental	34
2.1.2. Paramètres mesurés et observations générales	30
3. Analyses biochimiques	40
3.1. Détermination de la teneur en eau (V03-707 ISO 712, 1989)	40
3.2. Détermination de la teneur en protéines (NA 1185.1990)	40
3.3. Détermination de la teneur en amidon (ISO 712.2009)	41
4. Analyses technologiques	42
4.1. Extraction et détermination du Gluten humide (NA.735.1991, ISO 5531)	43
4.2. Détermination du Gluten sec (NA 736.1991)	45
4.3. Détermination du gluten index	45
4.4. Détermination de l'Indice de sédimentation (test de Zeleny) (NA 1184.1994 ; ISO 5529)	46
4.5. Détermination de l'indice de chute de Hagberg (NA 1176.1994)	47
4.6. Test d'Alvéographe de Chopin (Norme ISO 5530/4)	50
5. Analyse statistique	52
Partie II. Etude expérimentale	53
Chapitre II. Résultats et discussion	53
1. Résultats de l'étude des paramètres physiologiques	53
1.1. Caractères phénologiques	53
1.2. Discussion	57
1.3. Germination	58

1.4. Caractères morphologiques	59
1.5. Caractères agronomiques et composantes de rendement	61
1.6. Discussion	64
1.7. Corrélations entre les différents paramètres physiologiques	66
2. Résultats des analyses biochimiques (teneur en eau, en protéines et en amidon)	67
2.1. Discussion	73
3. Résultats des analyses Technologiques sur la farine extraite du blé des deux années	74
3.1. Taux de gluten	74
3.2. Volume de sédimentation et Indice de chute de Hagberg	77
3.3. Alvéographe de Chopin	80
3.4. Discussion	85
3.5. Corrélations entre les paramètres technologiques et certaines caractéristiques biochimiques	90
Conclusion	94
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure	Page
Figure (1) : Production céréalière dans le monde, utilisations et stocks.	7
Figure (2) : Coupe d'un grain de blé	9
Figure (3) : Section transversale médiane du grain de blé à 7 jours	10
Figure (4) : Constitution d'une granule d'amidon	11
Figure (5) : Stades de développement du blé	14
Figure (6) : Composition des protéines du blé	18
Figure (7) : Désintégration d'un noyau instable	24
Figure (8) : Pénétration des différents types de rayons dans la matière	25
Figure (9) : Mode d'obtention des rayons gamma à partir du cobalt 60	28
Figure (10) : Schéma d'une centrale d'irradiation	31
Figure (11) : Signe de l'irradiation : Logo « RADURA »	32
Figure (12) : Test de germination	42
Figure (13) : Schéma cultural adopté pour la première année de culture	43
Figure (14) : Schéma cultural adopté pour la deuxième année de culture	44
Figure (15) : Différentes étapes de mesure de la teneur en amidon	48
Figure (16) : Farine du blé ionisé aux doses de (0,10, 0,15 et 0,20K Gy) et leur témoin	49
Figure (17) : Quelques étapes de l'extraction du gluten	50
Figure (18) : Principe du gluten index : mesure de la proportion de gluten retenue sur une grille perforée après centrifugation	51
Figure (19) : Protocole de Zéleny : mesure de l'indice de sédimentation	52
Figure (20) : Appareil de Hagberg	53
Figure (21) : Tubes de gélatinisation	53
Figure (22) : Principe de mesure de l'indice de chute de Hagberg	54
Figure (23) : Etapes de développement de la pâte pendant la mesure à l'alvéographe	54

Figure (24) : Enregistrement des paramètres alvéographiques	55
Figure (25) : Parcelle du blé tendre Anza de la première année, ionisé à différentes doses aux stades : 1 (levée), 2 (plein tallage), 3 (épiaison), 4 (maturation)	59
Figure (26) : Parcelle du blé tendre Anza de la deuxième année, ionisé à différentes doses aux stades : 1 (début tallage), 2 (plein tallage), 3 (épiaison), 4 (maturation).	60
Figure (27) : Evolution du nombre de grains germés en fonction des doses d'ionisation durant les cinq jours de germination	63
Figure (28) : Evolution de la teneur en eau du blé en fonction des doses d'ionisation	73
Figure (29) : Evolution de la teneur en eau des farines du blé en fonction des doses d'ionisation	74
Figure (30) : Evolution de la teneur en protéines du blé en fonction des doses d'ionisation	74
Figure (31) : Evolution de la teneur en amidon du blé en fonction des doses d'ionisation	75
Figure (32) : Evolution du gluten du blé de la première année en fonction des doses d'ionisation	80
Figure (33) : Evolution du gluten du blé de la deuxième année en fonction des doses d'ionisation	81
Figure (34) : Evolution de l'indice sédimentation du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation	82
Figure (35) : Evolution de l'indice de chute de Hagberg du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation	84
Figure (36) : Evolution des paramètres alvéographiques des farines du blé de la première année en fonction des doses d'ionisation	87
Figure (37) : Evolution des paramètres alvéographiques des farines du blé de la deuxième année en fonction des doses d'ionisation	87
Figure (38) : Influence de la quantité de gluten humide (en%) sur le volume du pain	90

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau (1) : Composition en acides gras des lipides du blé, du germe et de l'albumen (% acides gras totaux)	19
Tableau (2) : Composition minérale du blé	20
Tableau (3) : Composition vitaminique moyenne du blé (mg/100g de MS)	20
Tableau (4) : Pénétration d'un rayonnement gamma en fonction de la puissance émise	26
Tableau (5) : Doses d'irradiation nécessaire pour obtenir la réduction décimale* d'une population de microorganismes	29
Tableau (6) : Caractéristiques de la variété (Anza)	41
Tableau (7) : Techniques culturales réalisées pendant le cycle de développement du blé de la première année	45
Tableau (8) : Techniques culturales réalisées pendant le cycle de développement du blé de la deuxième année	46
Tableau (9) : Utilisations potentielles des blés selon leur force boulangère	55
Tableau (10) : Dates moyennes des principales phases du cycle de développement sur deux années, des blés ionisés à différentes doses	57
Tableau (11) : Durée moyenne (en jours) des principales phases du cycle du développement à partir de la date du semis des blés ionisés à différentes doses	58
Tableau (12) : Critères de notation des principaux stades de développement des céréales	61
Tableau (13) : Valeurs moyennes des paramètres morphologiques et agronomiques et des composantes de rendement en fonction des doses d'ionisation	64
Tableau (14) : Résultats de l'analyse de la variance de l'effet de la dose d'ionisation, de l'année de culture et de l'interaction entre l'année de culture et les doses de rayonnement	65
Tableau (15) : Résultats de l'analyse globale de la variance de l'effet de la dose, de l'année et de l'interaction année et dose	66
Tableau (16) : Corrélations entre les différents paramètres physiologiques	72
Tableau (17) : Valeurs moyennes et résultats de l'analyse de la variance de l'effet de dose d'ionisation sur la teneur en eau (% MS) du blé des deux années	73
Tableau (18) : Valeurs moyennes des composants biochimiques du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation (en %MS)	74
Tableau (19) : Analyse de la variance des paramètres biochimiques en fonction des doses d'ionisation	77

Tableau (20) : Valeurs du gluten de la farine du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation	79
Tableau (21) : Analyse de la variance du taux de gluten en fonction des doses d'ionisation	80
Tableau (22) : Valeurs moyennes de l'indice de sédimentation et de l'indice de chute de la farine du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation	82
Tableau (23) : Analyse de la variance de l'indice de sédimentation et de chute en fonction la dose d'ionisation	83
Tableau (24) : Valeurs des paramètres alvéographiques de la farine du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation	85
Tableau (25) : Analyse de la variance des paramètres alvéographiques en fonction des doses d'ionisation	88
Tableau (26) : Résultats de l'analyse de la variance de l'interaction entre le paramètre et la dose d'ionisation	89
Tableau (27) : Résultats de l'analyse de la variance de l'interaction entre les deux années de culture	89
Tableau (28) : Corrélations entre les paramètres technologiques et biochimiques des farines	96

Liste des abréviations

1. **ADN** : Acide Désoxyribonucléique
2. **AIEA** : Agence Internationale de l'Energie Atomique
3. **Am** : Amidon
4. **ANOVA** : Analyse de la variance
5. **AR** : Amidon résistant
6. **ARN** : Acide ribonucléique
7. **C** : Carbone
8. **Co** : Cobalt
9. **CRNA** : Centre de Recherches Nucléaires d'Alger
10. **DDL** : Degré de liberté
11. **DP** : Degré de polymérisation
12. **e** : Electron
13. **E** : Eau
14. **ENSA** : Ecole Nationale Supérieure Agronomique
15. **F**: Le nombre Fischer
16. **FAO** : Food and Agriculture Organization
17. **FPM** : Faible poids moléculaire
18. **G** : Gonflement
19. **GH** : Gluten Humide
20. **GI** : Gluten index
21. **GS** : Gluten Sec
22. **H** : Humidité
23. **ICH** : Indice de chute
24. **HMW** : High molecular weight
25. **HPM** : Haut poids moléculaire
26. **HT** : Hauteur de la tige
27. **IS** : Indice de sédimentation
28. **ISO** : International Organization for Standardization
29. **ITGC** : Institut Technique des Grandes Cultures
30. **L** : Longueur (Extensibilité)

31. **LE** : Longueur de l'épi
32. **LMW** : Low molecular weight
33. **LSD** : Least Significant Difference
34. **M** : Masse
35. **MC** : Moyenne des carrés
36. **MS** : Matière sèche
37. **N.P.K** : Azote. Phosphore. Potassium
38. **NA** : Norme Algérienne
39. **NE** : Nombre d'épis
40. **NG** : Nombre de grains
41. **NGG** : Nombre de grains germé
42. **NGPE** : Nombre de grains par épi
43. **NPL** : Nombre de pieds levés
44. **NS** : Non significatif
45. **OH** : Hydroxyle
46. **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
47. **P** : Surpression maximale (Ténacité)
48. **p** : Probabilité
49. **P/L** : Rapport de configuration
50. **PMG** : Poids de mille grains
51. **Pr** : Protéines
52. **r** : Coefficient de corrélation
53. **RE** : Réticulum endoplasmique
54. **RG** : Rendement en grains
55. **S** : Significatif
56. **SC** : Somme des carrés
57. **SDS** : Sodium Dodécyl Sulfate
58. **SIM** : Semoulerie industrielle de la Mitidja
59. **T** : Triticum
60. **U** : Unité
61. **V** : Volume
62. **W** : Travail de déformation (Force de la pâte)

Introduction et problématique

Introduction et problématique

Les produits céréaliers constituent la base de l'alimentation humaine dans la plupart des pays du monde, du fait qu'ils apportent la plus grande part énergétique de la ration. Les principales céréales sont représentées par le blé, l'orge, le maïs et le riz. Le blé est la principale source de protéines céréalières dans l'alimentation humaine, sa teneur en protéines étant plus élevée que celle du maïs ou du riz (**Hammad et al, 2017**). Il est en effet la seule céréale donnant une farine panifiable et pastifiable grâce à la nature unique de ses protéines qui permettent la formation du réseau de gluten. L'aptitude à la panification a également été associée à des variétés possédant des grains plus durs, la valeur d'utilisation des farines a donc été définie selon la nature plus ou moins tendre du grain de blé (**Lesage, 2011**).

Les céréales et leurs dérivés constituent la base de l'alimentation en Algérie. Néanmoins, leur disponibilité est assurée principalement par les importations. Selon les statistiques du ministère du commerce, les importations des céréales ont représenté 34,15% de la facture globale des importations pour l'année 2019 (**MCA, 2020**), bien que des programmes de relance de la culture des céréales, notamment du blé ont été lancés depuis plus d'une décennie. La maîtrise de ce facteur, est donc un objectif à tracer si on veut vraiment limiter la dépendance alimentaire en produits de base, dont le blé, vis à vis des pays producteurs et exportateurs qui pourront l'utiliser comme une arme pour atteindre leurs objectifs stratégiques. Cependant, la qualité et la quantité des semences produites par les différents organismes de l'état ou par les coopératives privées représentent l'élément clé du développement de la céréaliculture en Algérie. Pour atteindre cet objectif, le recours à des techniques d'amélioration des performances génétiques et agrobiologiques s'avèrent nécessaires. Le traitement par ionisation aux différents rayons (α , β et γ) en vue d'améliorer les différentes variétés de blé, est considérée comme l'une des alternatives à prendre en considération afin d'assurer la sécurité alimentaire nationale et échapper aux pressions des grands lobbys de l'agroalimentaire. Cette technique peut aussi être utilisée dans les aliments définis par la FAO et l'OMS pour limiter les pertes au cours de l'entreposage des céréales et dérivés à court et à moyen termes.

Au cours des dernières décennies, un grand nombre de travaux pertinents ont vu le jour concernant l'utilisation des radiations avec un intérêt particulier pour les rayons gamma, en vue de la production de génotypes de variétés supérieures de cultures agricoles d'importance agronomique (**Jan et al, 2012**).

L'ionisation des aliments est une technique de traitement qui consiste à exposer les aliments à des rayonnements ionisants tels que des faisceaux d'électrons, des rayons X ou des rayons

gamma, afin de provoquer la lyse des bactéries susceptibles de causer une intoxication alimentaire. Les rayons gamma appartiennent aux rayons ionisants, ils sont la forme la plus énergétique et se caractérisent par un niveau d'énergie d'environ 10 KeV à plusieurs centaines de KeV. Ils sont considérés comme les plus pénétrants des autres types de rayonnement, tels que les rayons alpha ou bêta (**Diehl, 2002**). Leur effet est basé sur l'interaction avec la matière, ce qui peut générer des radicaux libres plus ou moins stables en fonction des conditions d'ionisation. La technique de l'ionisation est aussi utilisée pour contrôler l'infestation par les insectes et pour retarder le mûrissement des fruits et empêcher les légumes de germer (**Patil et al, 1999 ; Lacroix & Follett, 2015**). Aussi communément connue sous le nom de "pasteurisation à froid", elle offre un large éventail d'avantages à l'industrie alimentaire et au consommateur en garantissant la qualité hygiénique des aliments solides ou semi-solides par l'inactivation des agents pathogènes d'origine alimentaire (**Mostafavi et al, 2012**). L'intérêt pour les technologies d'ionisation des aliments ne cesse de se développer en raison de son efficacité et de son coût limité. De plus, avec des réglementations de plus en plus restrictives d'où l'interdiction totale et complète de l'utilisation d'un certain nombre de fumigants chimiques pour le contrôle des insectes et des microbes dans l'industrie alimentaire, l'ionisation devient une alternative privilégiée pour préserver les aliments des pertes occasionnés par les différents contaminants (**Follett & Neven, 2006 ; Ehlermann, 2016**). Les bases de l'ionisation des aliments ont été établies avec l'adoption en 1983 révisée en 2003, de la norme générale mondiale Codex pour les aliments ionisés (**Codex Alimentarius, FAO/WHO, 2003 a ; FDA, 2005**). La norme générale stipule que la dose minimale absorbée doit être suffisante pour atteindre le but technologique et la dose maximale absorbée doit être inférieure à celle qui compromettrait la sécurité ou la salubrité pour le consommateur ou qui affecte négativement les propriétés structurelles et fonctionnelles ou les attributs nutritionnels et sensoriels (**Olson, 1998**). Environ 60 pays autorisent l'ionisation d'un ou de plusieurs aliments ou catégories d'aliments (**Codex Alimentarius, FAO/WHO, 2003 b**). De plus, la Food Drug and Administration (l'administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments) a approuvé l'utilisation des rayonnements ionisants pour contrôler les contaminants microbiens des grains (**Khah & Verma, 2015**).

Les incidences de l'ionisation gamma sur le blé ont montré des effets variables en fonction des doses appliquées. **Ashraf et al (2003)** ont signalé que l'ionisation des semences de blé peut provoquer des changements qui permettront aux phytogénéticiens de sélectionner des génotypes en améliorant leurs caractéristiques physiologiques, telles que la précocité, la salinité, le rendement et la qualité des grains. **Begum & Dasgupta (2011)** ainsi que **Heidarieh**

et al (2013) ont caractérisé cette méthode comme l'un des mutagènes physiques exerçant des effets physiologiques et biochimiques les plus importants sur les plantes. Ainsi, **Li & Yang (2014)** ont montré dans leur étude sur le rôle des blés hexaploïdes mutés dans l'amélioration de la variation du blé panifiable, que les rayons gamma provoquaient des mutations génétiques chez le blé, qui pourraient intervenir en grande partie dans les processus de sélection des blés. Dans ce même ordre d'idées, **Kumar et al (2014)** ont employé ces radiations dans la sélection de plantes hybrides, afin de réaliser une cartographie de marqueurs génétiques, tandis que **Nayeem et al (2013)** ont trouvé neuf mutants radio-induits avec un modèle amélioré de protéines hydrosolubles (gluténines) qui pourraient être utilisés comme matériel de reproduction pour l'amélioration de la qualité technologique des protéines du blé panifiable. Des résultats similaires ont été rapportés par **Lai & Zhang (2014)**, qui ont démontré que l'ionisation gamma au cobalt-60 provoque une modification d'un gène « HMW-GS » dans une variété de blé tendre "Vortex 9722" révélant des loci de gluténines mutants.

L'un des principaux caractères de l'amélioration du blé tendre est l'augmentation du nombre et du poids des mille grains (**Gegas et al, 2010**), en raison de leur effet sur le rendement du blé. D'après **Daskalova & Spetsov (2017)**, l'amélioration de ces deux paramètres reste l'objectif majeur de la sélection du blé.

Ainsi **Chaudhary (1983)** a exposé les grains de six variétés de blé tendre à des doses de 1 à 1,4 KGy afin de suivre la germination et la survie du blé. Les résultats ont montré que la dose la plus faible pouvait améliorer sa germination. Cependant, **Czyczyla-Mysza et al (2013)** ont ionisé des graines de blé à une dose de 0,3 KGy et n'ont constaté aucun effet notable sur la germination.

Sur les paramètres technologiques, **Anwar et al (2015)**, apportent que l'absorption d'eau reste l'un des facteurs déterminants de la stabilité et de la rhéologie de la pâte. Ils signalent à cet égard, que l'ionisation γ a provoqué une augmentation du pourcentage d'absorption d'eau en fonction des doses d'ionisation, ce qui est hautement souhaitable et économique. **Christian et al (2012)** ont étudié l'influence du rayonnement gamma sur les caractéristiques technologiques de la farine de blé (*Triticum aestivum*) à des doses de 1 et 3 KGy, ainsi que les propriétés physiques des pains de mie fabriqués avec cette farine. Ils ont évalué la force de déformation, la hauteur et le poids des pains préparés avec la farine ionisée et les résultats ont montré une augmentation de poids. D'autre part, **Mekkaoui et al (2000)**, rapportent que l'indice de chute de Hagberg augmente au-delà de la limite minimale à la dose de 0,3KGy, ce qui améliore la

qualité fermentaire de la pâte, tandis que la diminution du volume de sédimentation était moins marquée pour les faibles doses.

En Algérie, l'ionisation apparaît comme une méthode de choix pour la désinsectisation du blé, la prolongation de sa durée de conservation et l'amélioration éventuelle de sa qualité technologique. Elle semble être prometteuse et économiquement faisable si le produit est initialement sain. La connaissance de l'effet de l'ionisation à faibles doses et les niveaux de doses à appliquer pour obtenir l'effet désiré, s'avère nécessaire. L'Algérie se retrouve parmi les pays prospecteurs de l'ionisation, mais son application est très limitée et reste à l'échelle expérimentale. Le domaine de recherche touche principalement certains produits alimentaires de base, tels que la pomme de terre, l'ail, l'oignon et la datte par des essais d'amélioration de leurs potentialités. Le décret du 11 avril 2005 du journal officiel, en fixe les règles de traitement, de contrôle et de commerce des denrées alimentaires traitées par ionisation et définit les intervalles de doses recommandées pour chaque type de produit.

Les études réalisées et leurs résultats plus ou moins contradictoires nous ont poussé à prospecter dans la fourchette des doses faibles dites « commerciales », afin de les adapter à nos variétés locales et d'en rechercher les doses idéales pour améliorer leurs caractéristiques. Ainsi, cette étude a été menée dans le but de rechercher l'influence des rayons gamma à faibles doses sur certains paramètres morphologiques, agronomiques et technologiques d'une variété de blé tendre locale (Anza), dans le but de rechercher les opportunités que peuvent offrir ces doses en guise d'essai d'amélioration de ses potentialités physiologiques et technologiques, ce qui va se répercuter d'une manière positive sur la qualité et le rendement de cette variété locale.

Pour cela, la démarche adoptée dans la réalisation de ce travail, s'est basée sur une synthèse bibliographique pour en faire ressortir les effets de l'ionisation et de ce fait proposer une étude expérimentale adaptée à une variété de blé tendre locale ionisée à des doses « commerciales » et d'en tirer enfin les conclusions positives dans les perspectives de généraliser ce traitement aux différentes variétés cultivées localement.

Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre I. Le blé tendre

Partie I. Contexte bibliographique

Chapitre I. Le blé tendre

Historique

Les premières cultures du blé tendre sont apparues au VIII^e siècle avant Jésus Christ, en Mésopotamie et dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate (en Irak), dans la région du "croissant fertile" (actuels Palestine, Liban, Syrie et Sud de la Turquie) où subsistent à ce jour des blés sauvages (**Bouthigny, 2007**). C'est à partir de ces zones que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe.

Le semis de grains poussant à l'état spontané, la culture et les récoltes répétées ont conduit à la domestication du blé. La sélection de formes mutantes avec des épis coriaces qui restaient intacts pendant la récolte, la formation de grains plus gros et la tendance des épillets à rester sur la tige jusqu'à la récolte, ont été le point de départ de l'agriculture moderne du blé (**Dubcovsky et al, 1997**). Le XIX^e siècle s'affirme comme le temps du grand virage vers la modernité, où des agriculteurs se sont spécialisés dans la sélection et la fourniture de variétés nouvelles.

1. Importance économique

Les céréales restent la principale denrée cultivée dans le monde, elles s'adaptent en effet à tous les sols et à tous les climats. De plus, elles sont faciles à entreposer pendant de longues périodes et à être utilisées naturelles ou après transformation pour l'alimentation humaine (**Malik, 2009**). La figure (1) expose l'évaluation de la production mondiale des céréales, ainsi que leurs utilisations et les quantités stockées.



Figure (1) : Production céréalière dans le monde, utilisations et stocks

(FAO, 2021, <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>)

Le blé est la céréale la plus cultivée à l'échelle mondiale dans les climats tempérés de la Scandinavie au nord, à l'Argentine au sud, en passant par les régions montagneuses des tropiques. Elle occupe la troisième place parmi les céréales, derrière le maïs et le riz. La demande en blé pour la consommation humaine a augmenté dans le monde, y compris dans les pays dont le climat est inadapté à la production du blé, en raison de l'adoption de régimes alimentaires de type occidental (Brouns *et al*, 2013). Environ 95 % du blé cultivé et consommé dans le monde est de type panifiable (*Triticum aestivum*).

Sur la période de 2020 à 2021, l'Union européenne a enregistré une production supérieure à 125 millions de tonnes de blé alors qu'elle excédait les 145 millions de tonnes cinq ans auparavant. La Chine a dépassé la production européenne pour devenir selon les estimations, leader mondial de la production du blé au monde en 2020/2021 avec plus de 134 millions de tonnes (<https://fr.statista.com/statistiques/559831/principaux-pays-producteurs-de-ble-dans-le-monde/>).

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette filière est très liée au marché international avec une gouvernance étatique et privée (Djermoun, 2009). Dans ce contexte, le pays dépend fortement des importations de céréales, le blé tendre étant le plus important. Selon une note de la FAO publiée le 2 Aout 2021, la production totale des céréales en Algérie pour l'année 2021 est estimée à 3,5 millions de tonnes, soit 38 % de moins que l'année précédente. De plus, au cours des cinq dernières années, les besoins d'importation du pays ont été en moyenne d'environ 7,6

millions de tonnes par an, principalement de blé tendre qui représente environ 70 % de la consommation intérieure. L'Algérie importe du blé de France, du Canada, d'Allemagne, des États-Unis, d'Espagne et du Mexique, et pour la première fois depuis 2016, la Fédération de Russie a expédié du blé en Algérie en Juin 2021.

(<http://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=DZA&lang=fr>).

2. Taxonomie

Le blé est une monocotylédone, appartenant au genre *Triticum*, tribu des *triticeae*, famille des *Poaceae* (Feillet, 2000 ; Lesage, 2011).

Trois groupes de *Triticum* sont connus, ils sont répartis selon le nombre de leurs chromosomes :

- Le groupe **diploïde (2x7 chromosomes)** qui comprend *Triticum monococcum* et *T. spontaneum*, qui font partie des formes les plus anciennement cultivées caractérisées par des épis grêles où les grains restent enveloppés par les glumelles.
- Le groupe **tétraploïde (4x7 chromosomes)** qui comprend *T. dicoccoides* (amidonnier sauvage), *T. dicoccum* (amidonnier), *T. turgidum* et *T. durum* (blé dur), à épis denses dont les grains sont riches en gluten et servent à fabriquer les pâtes alimentaires.
- Le groupe **hexaploïde (6x7 chromosomes)**, représenté par *T. vulgare* ou *T. aestivum* (blé tendre) et *T. spelta* (épautre), ce groupe comprend la majorité des blés à épis assez larges et aux grains riches en amidon, nécessaires à la fabrication du pain.

3. Structure, développement et composition du grain

3.1. Structure histologique

Selon Feillet (2000), le grain de blé comporte trois parties distinctes (figure 2) :

- **Les enveloppes** : composées de cinq tissus différents : le péricarpe externe, le péricarpe interne formé par la couche de cellules tubulaires et la couche de cellules croisées, le testa ou tégument et la bande hyaline ou épiderme du nucelle.
- **L'albumen** : constitué de la couche à aleurone et de l'album amylicé.
La couche à aleurone est le tissu restant vivant lorsque le grain a atteint sa maturité. Lors du broyage, ce tissu reste accroché au péricarpe et ne se retrouve donc pas dans la farine. L'albumen amylicé est constitué de cellules riches en granules d'amidon, englobés dans une matrice protéique.
- **Le germe** : composé de l'embryon et du scutellum ou cotylédon.

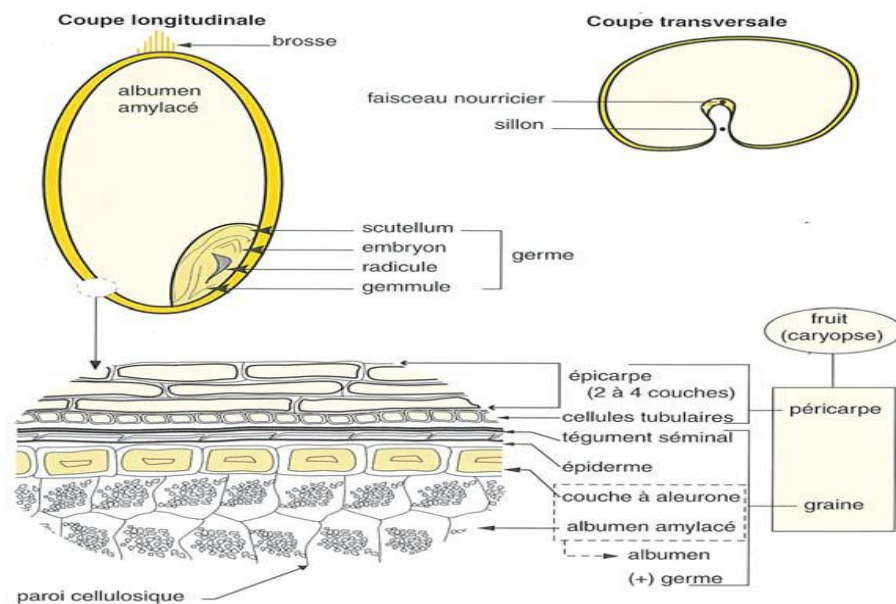


Figure (2) : Coupe d'un grain de blé (Feillet, 2000).

3.2. Développement du grain

Du fait du caractère cléistogame de la fleur, le blé est autogame : il se reproduit essentiellement par autofécondation. La double fécondation, caractéristique des angiospermes a lieu dans l'ovaire : le grain de pollen contient deux noyaux, l'un féconde l'oosphère induisant la formation de l'embryon, l'autre fusionne avec les noyaux polaires du sac embryonnaire pour former l'albumen, tissu dans lequel s'accumulent les réserves nécessaires à l'embryon (Lesage, 2011).

Après fécondation, l'ovaire se développe rapidement, multipliant sa taille par trois dans les quatre premiers jours, dans les couches cellulaires qui contiennent le sac embryonnaire. Celui-ci est constitué d'une large vacuole entourée de tissu cœnocytique, formé par la division synchrone des noyaux pendant les 3 à 4 premiers jours de développement. Au bout du dixième jour, les noyaux continuent à se diviser rapidement, migrent vers le nucelle et les parois cellulaires commencent à apparaître. Le premier anneau d'albumen est formé (endosperme) et le centre de l'albumen sera structuré d'une façon centripète (figure 3).

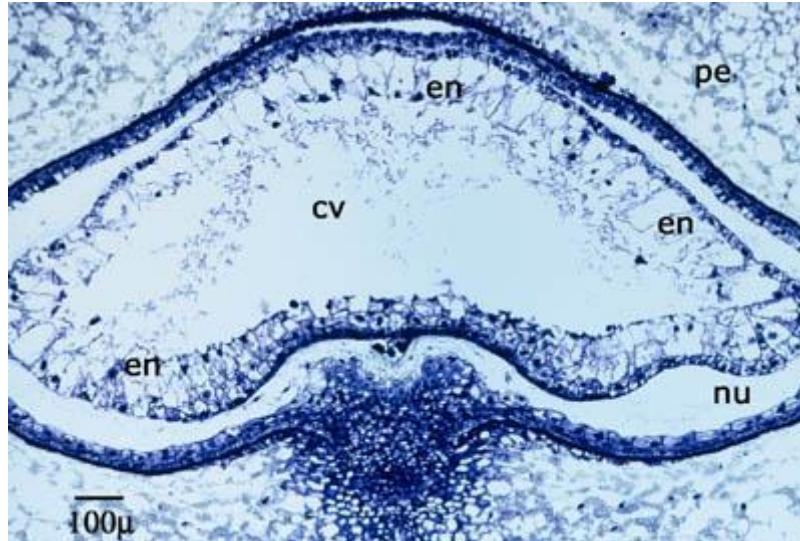


Figure (3) : Section transversale médiane du grain de blé à 7 jours (<http://www.wheatbp.net/>)

La période du remplissage du grain s'étend de 11 à 30 jours après anthèse pendant lesquels il y a accumulation de l'amidon et de protéines dans les cellules de l'albumen amylicé, puis le grain entre en phase de dessiccation.

Au cours du développement du grain, le péricarpe maternel (paroi de l'ovaire) et le tégument de la graine (paroi de l'ovule) se dessèchent et forment des enveloppes soudées entre elles. Le grain étant alors à la fois le fruit et la graine, il est appelé « caryopse ».

3.2.1. Formation des granules d'amidon

Des proplastes existent dans le cytoplasme de l'albumen, ils se différencient en amyloplastes, qui ne se développent que dans l'albumen amylicé, dans lesquels les granules d'amidon apparaissent, ils grossissent rapidement. A maturité, trois groupes de granules d'amidon, constitués de molécules d'amylose et d'amylopectine (figure 4) sont présents : le type A, dont le diamètre est supérieur à 15 µm, le type B, dont le diamètre est compris entre 5 et 15 µm et le type C à un diamètre inférieur à 5 µm. Chaque type aurait une composition chimique et des propriétés fonctionnelles différentes (Lindeboom *et al*, 2004).

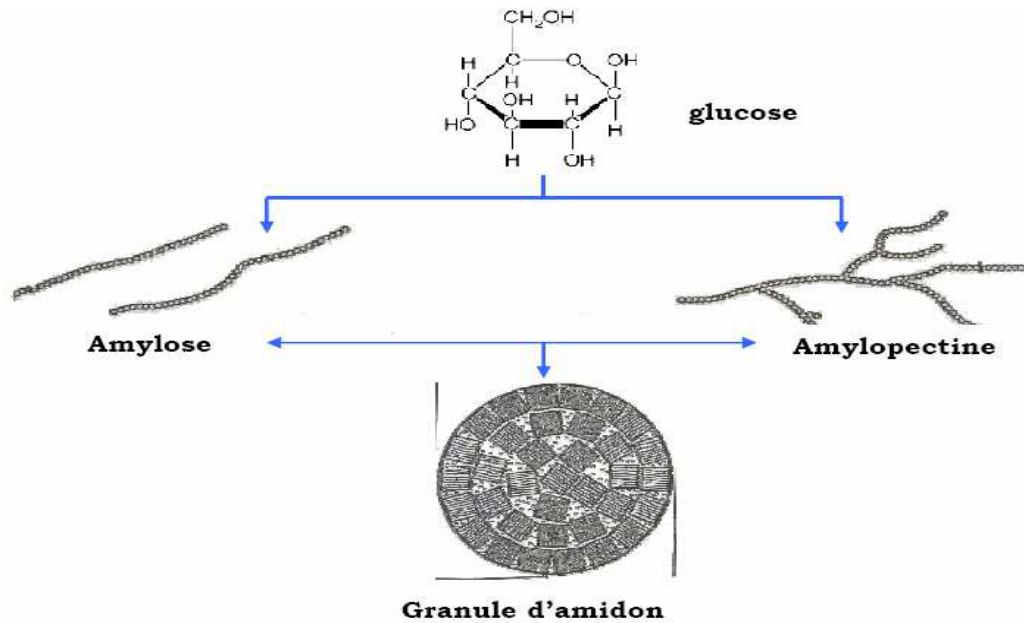


Figure (4) : Constitution d'une granule d'amidon (Chene, 2004)

3.2.2. Formation des corps protéiques et des protéines de réserve

Les protéines du blé sont réparties en deux classes bien distinctes :

- Les protéines cytoplasmiques ou membranaires représentées par les albumines et les globulines.
- Les protéines de réserve représentées par les différents types de gliadines et de gluténines.

A maturité, les grains d'amidon sont enchâssés dans une matrice protéique constituée par les protéines de réserve, gliadines et gluténines dont les propriétés physiques et structurales sont différentes. Celles-ci sont synthétisées dans le réticulum endoplasmique (RE) et accumulées dans des petits corpuscules entourés d'une membrane (Bechtel *et al*, 1982). Ces deux types de protéines sont accumulées dans des zones distinctes du RE et leur transfert diffère : les prolamines sont transportées directement vers les vacuoles de stockage des protéines par des vésicules de bourgeonnement du RE, tandis que les gluténines passent par le Golgi avant d'être déposées dans des corps protéiques (Crofts *et al*, 2004).

Les protéines de réserve du grain de blé, appelées prolamines en raison de leur richesse en résidu proline et glutamine, sont à la base de formation d'un réseau viscoélastique (le gluten), lors du pétrissage de la pâte. Cette viscoélasticité du gluten définit l'aptitude à la panification du blé.

4. Cycle de développement du blé tendre

D'après Gate (1995) et Soltner (2005), le cycle biologique du blé comprend trois grandes périodes successives subdivisées en phases et en stades (figure 5).

4.1. Période végétative

Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à la fin du tallage, elle comprend deux phases :

a. Phase germination- levée

La germination est le passage de la semence de l'état de vie ralentie à l'état de vie active. La température minimale permettant la germination du blé est de 0°C. L'optimum thermique se situe entre 25 et 30°C. La germination se traduit par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et de la coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La date de levée est définie par l'apparition de cette première feuille vers la surface du sol. Pendant cette phase, la plantule vit sur les réserves de la graine. La composition de ces dernières (teneur en protéines) agit favorablement sur la vitesse de la germination levée. Le stade de levée est atteint lorsque 90% du nombre final des plantes sont levées.

b. Phase Levée-tallage

A partir du stade 3-4 feuilles, une première tige apparaît à l'aisselle de la première feuille de la tige principale. L'émergence de cette première talle constitue le repère conventionnel du stade début tallage. D'autres talles primaires apparaissent à partir de bourgeons situés à l'aisselle des 2èmes et 3èmes feuilles, le tallage s'arrête dès lors que la plante atteint un stade floral suffisamment avancé et que la durée du jour permet l'élongation des entre nœuds.

4.2. Période de reproduction

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi, dont les phases sont les suivantes :

a. Phase Montaison-gonflement

La montaison débute à la fin du tallage herbacé. Ce stade est repérable lorsque le sommet de l'épi des tiges principales est en moyenne distant de 1cm du plateau de tallage. La montaison se caractérise par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales (glumelles, organes sexuelles) et par la méiose pollinique qui a lieu un peu avant le gonflement.

La montaison s'achève avec l'émission de la dernière feuille et les manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la graine.

b. Phase Epiaison-floraison

L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la graine de la feuille étendard. C'est au cours de cette période que s'effectue la fécondation. Ce stade est très important sur le plan agronomique, du fait que la précocité de l'épiaison dans les zones semi arides permet aux cultures d'éviter les sécheresses de fin de cycle. La floraison chez le blé se réalise en moyenne 8 jours après l'épiaison.

4.3. Période de formation et de maturation

Durant cette période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserve. La croissance du grain suit une courbe sigmoïde avec une phase de faible accumulation de matière sèche, une phase linéaire et enfin un plateau.

a. Grossissement du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera orienté vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. A la fin de cette phase, 40 à 50% des réserves se sont accumulées dans le grain. Celui-ci bien qu'ayant pris sa forme définitive, est mou, encore vert et reste facilement écrasable entre le pouce et l'index laissant échapper un liquide blanchâtre : c'est le stade grain laiteux.

L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir.

b. Maturation du grain

Il s'agit de la dernière phase du cycle végétatif. Entre le stade laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable c'est la phase caractéristique du remplissage du grain, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. Cette phase se termine par le stade pâteux (45% d'humidité). La maturité physiologique a lieu quand il y'a plus de migration de matière sèche vers le grain. Après ce stade, on assiste à une phase rapide de dessiccation où le blé devient dur (20% d'humidité), il passera progressivement à l'état de maturité (15 à 16% d'humidité).

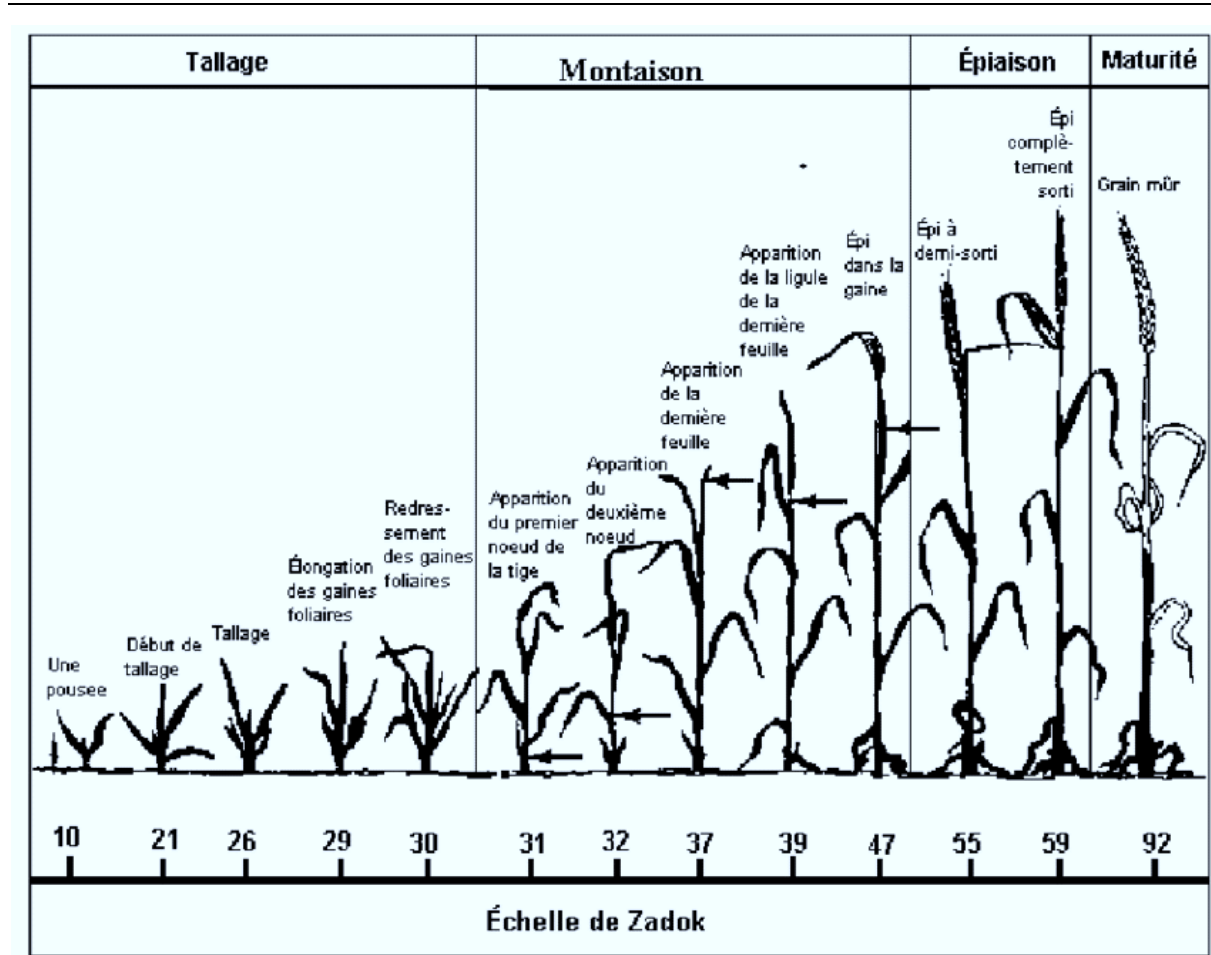


Figure (5) : Stades de développement du blé (https://www.researchgate.net/figure/Les-stades-de-developpement-du-ble_fig5_280804452)

4.4. Hormones de croissance et régulation hormonale

La croissance et le développement d'une plante sont parfaitement organisés dans l'espace et dans le temps. Ils sont sous l'influence du génome, des facteurs du milieu, mais aussi de substances organiques naturellement présentes dans la plante (**Bonin et Citron, 2010**). Ces substances sont très souvent comparées aux hormones animales et sont appelées « hormones végétales » ou « phytohormones ».

On distingue cinq catégories de phytohormones naturelles : l'auxine, les gibbérellines, les cytokinines, l'acide abscissique et l'éthylène. L'effet de ces hormones peut varier selon leurs concentrations, le type de cellules et le stade de développement de la plante.

Bonin et Citron (2010) soulignent que les phytohormones naturelles sont présentes à des moments précis du développement de la céréale, et qu'elles ne sont pas produites au même moment du développement du blé. Ces auteurs résument l'action de ces hormones sur le blé, par le fait que les cytokinines sont majoritaires en début de tallage. Les gibberellines sont surtout

présentes au début de la montaison. L'auxine prends le relai au cours de la montaison. Quant à l'acide absissique, il agit à la montaison et à la maturation.

Plus de détails sur la synthèse de ces phytohormones et leur rôle dans la croissance sont apportés par **El Hassani & Persoons (1995)** :

- **Une cinquantaine de gibbérellines** (notées en général GA1, GA2, ...) sont recensées. Elles sont synthétisées dans les apex racinaires. On les trouve aussi dans les semences, les jeunes feuilles et les tiges. La germination des semences, l'élongation des tiges, l'expansion des feuilles, la floraison et la croissance des fruits sont des processus physiologiques qui sont activés par les gibbérellines. Elles lèvent la dormance des semences mais elles inhibent la sénescence des feuilles et la maturation des fruits.

La synthèse des gibbérellines dans les racines et leur transport vers les parties aériennes sont inhibés par l'excès d'eau.

- **L'auxine** est essentiellement produite dans les méristèmes et régions de croissance active au niveau des parties aériennes. Elles se trouve dans la plupart des tissus de la plante. Les auxines activent l'élongation des coléoptiles et des tiges. Elles inhibent en outre la croissance racinaire en induisant la formation d'éthylène. Enfin, elles retardent la sénescence des feuilles et la chute des fruits.

La production des auxines est inhibée par la déficience en zinc et en phosphore, et elle est favorisée par les gibbérellines et les cytokinines qui en stimulent le transport.

- **Les cytokinines** sont synthétisées dans les apex des racines, mais on les trouve aussi dans les parties aériennes, les semences et les fruits n'ayant pas atteint la maturité physiologique. Elles jouent un rôle important dans la germination et favorisent la division cellulaire. Elles activent l'initiation des feuilles et des tiges et favorisent l'extension des feuilles et des cotylédons.

Les facteurs affectant la synthèse, la translocation et l'activité des cytokinines sont peu connus. Cependant le stress hydrique et les hautes températures inhibent leur production dans les racines ainsi que leur transport vers les parties aériennes.

- **L'acide absicissique**, sa synthèse se fait essentiellement dans la partie terminale des racines. On le trouve aussi dans les feuilles, les bourgeons, les semences, les fruits et tubercules. Cette hormone circule facilement au niveau des cotylédons, des feuilles et des racines.

La fermeture des stomates, la sénescence des feuilles, l'abscission, la dormance des bourgeons, et la formation des tubercules et des racines adventives sont des effets bien connus de l'acide

abscissique. Il inhibe aussi la germination des semences, la croissance des bourgeons axillaires, l'élongation des tiges et des racines, et l'initiation florale.

Le stress hydrique, l'excès d'eau, la déficience en éléments minéraux et la salinité augmentent la production de l'acide abscissique.

- **L'éthylène** est produit par toutes les parties de la plante, plus particulièrement, dans les régions apicales en croissance active et au cours de la maturation. Étant donné sa nature volatile, son transport est peu connu, mais il circule des racines vers les parties aériennes.

La maturation des fruits, la sénescence des feuilles et la chute des organes ainsi que la levée de la dominance apicale des bourgeons axillaires sont les principaux effets produits par cette hormone. Elle inhibe également la division cellulaire des tiges et des racines.

La production de l'éthylène est stimulée par la maturation des fruits, la sénescence des feuilles et des fleurs, le stress hydrique et l'effet des autres hormones. Sa production est inhibée par la lumière et par les conditions d'anaérobiose. Son métabolisme et son transport au sein de la plante sont peu connus.

El Hassani & Persoons (1995) notent enfin que les activités promotrices et inhibitrices des différentes hormones naturelles, et leur implication dans la régulation de la croissance et du développement, ont suscité l'intérêt de fabriquer au laboratoire des molécules de synthèse ayant des effets spécifiques. Le cas le plus connu est celui de l'auxine synthétique ou 2,4-D, largement utilisé comme herbicide.

Plusieurs autres molécules de synthèse, de la famille des cytokinines, des gibbérellines et de l'acide abscissique sont actuellement disponibles pour diverses utilisations en agriculture : herbicides, régulateurs de croissance, inhibition de la germination, levée de la dormance, levée de la dominance apicale, retard de la sénescence, etc. Dans le cas des céréales, l'application des molécules de synthèse telles que le Cycocel (CCC, Chlorure de Chlormequat) permet un développement adéquat des épis et un remplissage homogène des grains.

5. Composition chimique du blé

Le blé se compose principalement d'amidon (70-75%), d'eau (14%) et de protéines (10-12%). Les autres constituants (2 à 3%) pondéralement mineurs, sont les lipides, la cellulose, les pentosanes, les sucres simples, les minéraux et les vitamines (**Feillet, 2000**).

5.1. Amidon

L'amidon est le polysaccharide de réserve le plus important de nombreuses céréales (**Lineback & Rasper, 1988 ; Parker & Ring, 2001**). Il est constitué de polymères de glucose, l'amylose

et l'amylopectine et d'un matériel intermédiaire. L'amylose est essentiellement linéaire, constituée d'unités D-glucopyranosyl (1→4) - α -liées, dont le poids moléculaire est situé dans la gamme de 105-106 avec un degré de polymérisation (DP) de 500-6000 résidus de glucose (**Lineback & Rasper, 1988**). Les glucides peuvent être divisés en deux types principaux : disponibles et non disponibles. Les glucides disponibles sont ceux qui sont digérés et absorbés par l'homme, notamment l'amidon (non résistant) et les sucres solubles. En revanche, les glucides non disponibles (pentosanes, cellulose, hémicellulose, amidon résistant) ne sont pas digérés par la sécrétion endogène du tube digestif humain (**Southgate, 1991, Muralikrishna & Rao, 2007**).

5.2. Eau

La teneur en eau du blé varie entre 10 et 14% d'eau. Cette faible teneur lui permet d'être stocké en évitant ainsi le développement de micro-organismes en particulier de moisissures (**Fredot, 2012**). Ce critère est important pour évaluer l'aptitude à la conservation des produits.

5.3. Protéines

Les protéines occupent de 8 à 18 % de la matière sèche du blé, et c'est à leur déficience marquée en lysine appelé « facteur limitant » que les protéines du blé doivent leur faible valeur nutritionnelle (**Feillet, 2000**).

La teneur en protéines du blé représente un intérêt technologique et nutritionnel pour son utilisation (**Gate, 1995**). Les protéines de l'albumen des céréales sont classiquement réparties en quatre classes selon leur solubilité différentielle dans différents solvants organiques et solutions ioniques (figure 6) : les albumines, les globulines, les prolamines (nommées gliadines chez le blé) et les gluténines (**Feillet, 2000**). Les deux premières fractions sont formées par l'ensemble des enzymes et des structures protéiques nécessaires à la vie cellulaire. et les deux dernières fractions, principales constituant du gluten, forment les protéines de réserve et représentent 70 à 85 % des protéines d'un grain du blé (**Lasztity, 1984 ; AFSSA, 2003**).

Les prolamines ne sont présentes que chez les céréales, elles représentent 80% des protéines de la farine de blé. Elles sont constituées de protéines monomériques, les gliadines (40%) et de protéines polymériques, les gluténines, elles-mêmes formant deux sous-groupes, les sous unités de faible poids moléculaire (FPM ou LMW : 40% des prolamines) et celles de haut poids moléculaire (HPM ou HMW 40% des prolamines).

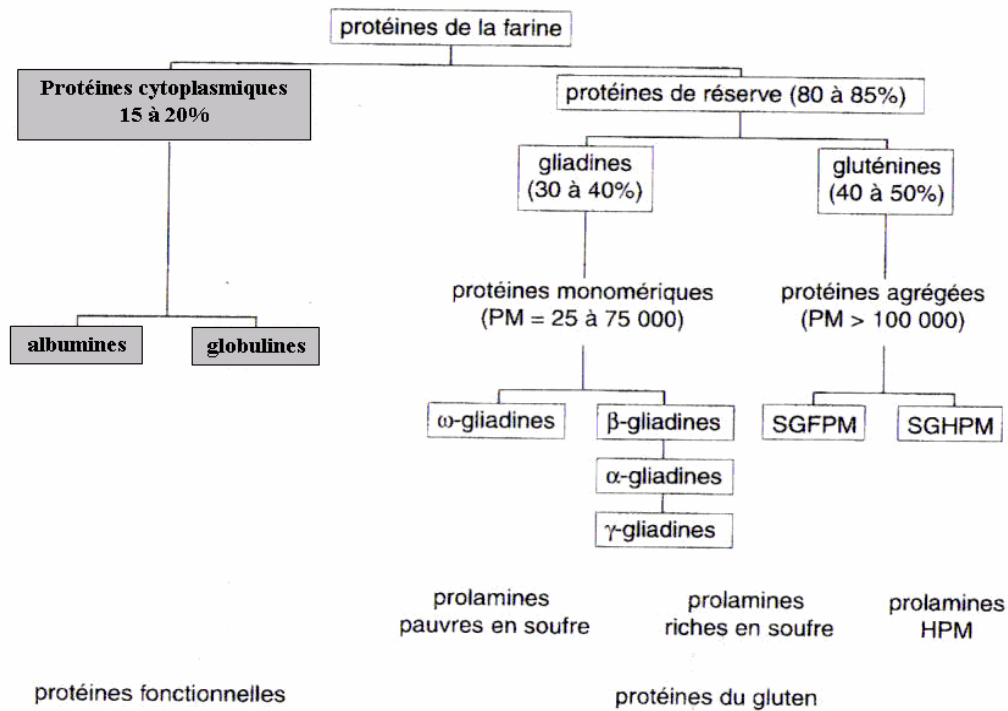


Figure (6) : Composition des protéines du blé (Shewry *et al*, 1986).

5.4. Lipides

Dans le grain du blé, les lipides sont présents en petites quantités (2 à 3%) et sont classés en lipides polaires (TAG) et lipides apolaires (phospholipides et glycolipides). Les acides gras essentiels (acides linoléique et linoléique) avec l'acide palmitique, les vitamines liposolubles et les phytostérols sont les composants importants des lipides du grain de blé (Ruibal-Mendieta *et al*, 2004). Le profil en acides gras des lipides du blé reporté au niveau du tableau (1), laisse apparaître une prédominance de l'acide linoléique, suivi par l'acide palmitique et en dernier l'acide oléique. Ils représentent à eux seuls plus de 90% des acides gras totaux (Eliasson & Larsson, 1993 ; Hosney, 1994).

Tableau (1) : Composition en acides gras des lipides du blé, du germe et de l'albumen (% acides gras totaux)

Acides gras	Grain entier	Germe	Albumen
Acides gras saturés			
Myristique	Traces	-	-
Palmitique	25	19	18
Stéarique	1	0,5	1
Acides gras insaturés			
Palmitoléique	1	0,5	1
Oléique	12	17	20
Linoléique	55	57	56
Linoléinique	4	5	3
Autres et insaponifiables	2	1	1

(Feillet, 2000)

6. Autres composants (minéraux, vitamines et enzymes)

Le blé constitue une excellente source minérale (Demirbas, 2005). Les minéraux qui s'y trouvent sont mentionnés dans le tableau (2). Il est aussi riche en vitamines dont leurs teneurs (tableau 3), mettent bien en évidence les effets délétères du blutage, séparation du son de l'albumen, qui provoque la perte de certaines vitamines se situant dans les enveloppes (Favier *et al.* 1995).

Tableau (2) : Composition minérale du blé

Minéraux	Teneur (mg/100g de blé)
Calcium	21
Chlore	< 20
Cuivre	0,17
Fer	0,78
Iode	< 20µg
Magnésium	28
Manganèse	0,8
Phosphore	96
Potassium	99
Sélénium	< 20 µg
Sodium	< 5
Zinc	0,71

(Ciquel, 2020)

Tableau (3) : Composition vitaminique moyenne du blé (mg/100g de MS)

Vitamine	Blé entier	Farine	Germe
Vitamine E	2,5	0,3	21
Vitamine B1	0,41	0,1	2
Vitamine B2	0,11	0,05	0,6
Vitamine B3	4,7	0,6	5,7
Vitamine B5	0,85	0,3	1,8
Vitamine B6	0,38	0,2	2,2
Vitamine B9	50	24	350

(Favier *et al.* 1995)

Les enzymes qui sont des substances complexes, sont présentes en quantité négligeable dans le blé. Néanmoins, leur rôle est très important. Elles sont responsables des transformations que subissent les autres substances : hydrolyse de l'amidon (destruction en sucres simples par l'amylase, qui vont être utilisés par les levures durant le processus de la fermentation panair) ainsi que l'hydrolyse des protéines en acides aminés par les protéases (Feillet, 2000). La lipase qui est une enzyme lipolytique, trouve son activité concentrée dans la couche à aleurone et augmente au cours de la germination. Elle croit avec le taux d'extraction dans la farine, puisqu'elle augmente la production d'acides gras insaturés lors de la mouture et la conservation. Les processus métaboliques accompagnant la germination du blé sont marqués par une activité enzymatique, respiratoire et hormonale accrue. Cette activité permet l'hydrolyse de l'amidon,

des lipides et des protéines, en substances directement assimilables par l'embryon, comme les sucres, les acides gras et les acides aminés (El Hassani & Persoons, 1995). En effet, Simões Larraz Ferreira (2011) rapporte que les cellules de l'aleurone sont d'une extrême importance, d'une part pour le développement du grain, car elles se divisent pour former les cellules de l'albumen amylicé, et d'autre part pour la germination du fait qu'elles sont le siège de la synthèse d'enzymes hydrolytiques responsables de la solubilisation des réserves.

De nombreuses réactions d'hydrolyse ont lieu tout au long du procédé de la panification par des enzymes hydrolases :

-Les α -amylases catalysent la réaction suivante : **Amidon + H₂O \rightleftharpoons α -dextrines limites + maltose + glucose**. Ces enzymes sont spécifiques des liaisons α -1-4 des constituants de l'amylose et de l'amylopectine. L'amylose est hydrolysée principalement en maltose, maltotriose et glucose. Dans le cas de l'hydrolyse de l'amylopectine, des dextrines sont également produites en plus des oligosides cités précédemment.

- Les β -amylases catalysent les réactions suivantes : **Amidon + H₂O \rightleftharpoons β -dextrines limites + maltose**. Ces enzymes hydrolysent les liaisons α -1-4 D-glucosidiques de l'amidon à partir des extrémités non réductrices des chaînes en libérant du β -maltose. Leur action est bloquée au niveau des ramifications en α -1-6. L'hydrolyse de l'amylose produit uniquement du β -maltose si la chaîne compte un nombre pair de sous unités de glucose ; dans le cas contraire une unité de glucose est également produite. Les résidus d'hydrolyse de l'amylopectine sont des β dextrines limites de haut poids moléculaire qui contiennent les liaisons α -1-6 de la chaîne initiale. La farine de malt de blé à 0,3 g pour 100 g de farine est un ingrédient riche en amylases qui est utilisé pour augmenter l'activité d'une farine hypoamylasique.

- Les **protéases** intervenant au cours de la panification sont nombreuses et d'origines variées (farine, levure). Cette diversité ne permet pas d'attribuer spécifiquement les effets observés à chaque protéase (Garcia *et al*, 2002). Cependant, leur action sur les protéines de blé est faible car elles hydrolysent préférentiellement des liaisons impliquant des acides aminés basiques qui sont peu présents dans les protéines du gluten. En panification, l'utilisation des protéases diminue la consistance de la pâte par déstabilisation du réseau de gluten (Potus *et al*, 1994). Il y a libération d'acides aminés qui peuvent être assimilés par la levure pour former des précurseurs d'arômes, ou être impliqués dans la réaction de Maillard.

- **Les lipases ou glycérol ester hydrolases** produisent des acides gras, du glycérol et des glycérides intermédiaires à partir des fractions TAG (Tri acyls glycérol), DAG (Di acyls glycérol) et MAG (Mono acyls glycérol) de la farine. La nature lipophile de leur substrat fait que les lipases agissent aux interfaces huile/eau présentes dans la pâte. La réaction d'hydrolyse correspond à la rupture de la liaison ester. La présence d'eau est nécessaire à cette réaction : **R-COO-R' + H₂O ⇌ R-COOH + R'-OH**

La lipase du blé libère préférentiellement les acides gras en position 1 et 3 (**Garcia, 2000**). Elle sélectionne également le type d'acides gras hydrolysés en fonction de la longueur de leur chaîne carbonée ou du nombre d'insaturations. Ces enzymes modifient le profil lipidique de la farine au cours du stockage car elles peuvent agir à faible activité d'eau. La teneur en eau des farines commerciales est suffisante pour que la lipase soit effective pendant le stockage de la farine (**Maraschin et al, 2008**).

-**Les lipoxygénases (linoléate oxygène oxydoréductase : LOX)** sont des enzymes qui catalysent l'oxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) contenant les acides linoléique (C₁₈:2) et linoléique (C₁₈:3) dans la farine de blé. L'oxydation des AGPI par ces enzymes conduit à la formation d'aldéhydes volatils intervenant dans la flaveur du pain. Tandis que l'oxydation des pigments caroténoïdes transforme ces pigments en dérivés, provoquant une décoloration des pâtes et de la mie qui en est issue (**Nicolas et al, 2009**).

Partie I : Contexte bibliographique

*Chapitre II. Ionisation et rayons gamma.
Effets sur les aliments*

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

I. Ionisation et rayons gamma

Historique

L'idée d'ioniser les aliments pour détruire les microorganismes, date de plus de cent ans. Dès 1896, alors que Bequerel vient de découvrir la radioactivité, Minsch suggère la possibilité d'irradier les aliments, bien avant le développement d'une industrie nucléaire (militaire ou civile). En 1905, des brevets américains et britanniques relatifs à l'utilisation des rayonnements ionisants pour l'élimination des bactéries voit le jour (**Ducoeurjoly, 2010**).

Ce procédé, inventé au milieu des années 1940 par des chercheurs français, pour les besoins des échanges internationaux, permet de décontaminer les denrées, supprimer certains microorganismes et insectes, ralentir le mûrissement, inhiber la germination et de mieux conserver les aliments à long terme. L'ionisation des aliments a pris de l'ampleur en 1947 lorsque les chercheurs ont découvert que la viande et d'autres aliments pouvaient être stérilisés par haute énergie. Pour établir la sécurité et l'efficacité du processus d'ionisation, l'armée américaine a commencé au début des années 1950 une série d'expériences des produits alimentaires divers.

Bruhn (2017) rapporte que des études sur des animaux ont montré que les aliments ionisés jusqu'à 10KGy ne présentaient aucun danger pour la consommation humaine ou animale, ce qui a permis au comité mixte FAO, OMS tenu en 1980 de déclarer cette technique sans danger, à la limite de dose de 10KGy. Plus tard cette limite de dose a été levée et a été remplacée par la limite organoleptique.

Cette position promouvant les usages civils de l'énergie nucléaire, a conduit l'OMS et l'AIEA à recommander l'ionisation des aliments comme moyen d'assurer la sécurité sanitaire pour le consommateur et comme base de concurrence entre les acteurs mondiaux du secteur agroalimentaire. Ce qui a mené de nombreux pays à autoriser la commercialisation d'aliments ionisés sans limitations ou pour des gammes assez larges de produits (**Gallais, 2010**).

I.1. Définition de l'ionisation

La technologie d'ionisation consiste à soumettre les aliments à une source radioactive de rayons gamma émis en continu et aussi longtemps que la source reste active : le cobalt 60 ou plus rarement le Césium 137. Elle peut être également pratiquée par la projection d'électrons à une

vitesse proche de celle de la lumière grâce à un accélérateur de particules à très haute énergie (Simon, 2010). Ce procédé détruit les microorganismes (bactéries, levures, moisissures), ralentit le murissement, inhibe la germination et retarde l'altération des aliments.

I.2. Rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants sont une forme d'énergie libérée par les atomes qui se propagent par le biais d'ondes électromagnétiques (rayons gamma ou X) ou de particules (neutrons, particules bêta ou alpha). La désintégration spontanée des atomes est appelée radioactivité et l'énergie en excès est émise sous forme de rayonnements ionisants (figure 7). Les éléments instables qui se désintègrent en émettant des rayonnements ionisants sont appelés radionucléides ou radio-isotopes (Benali, 2016).

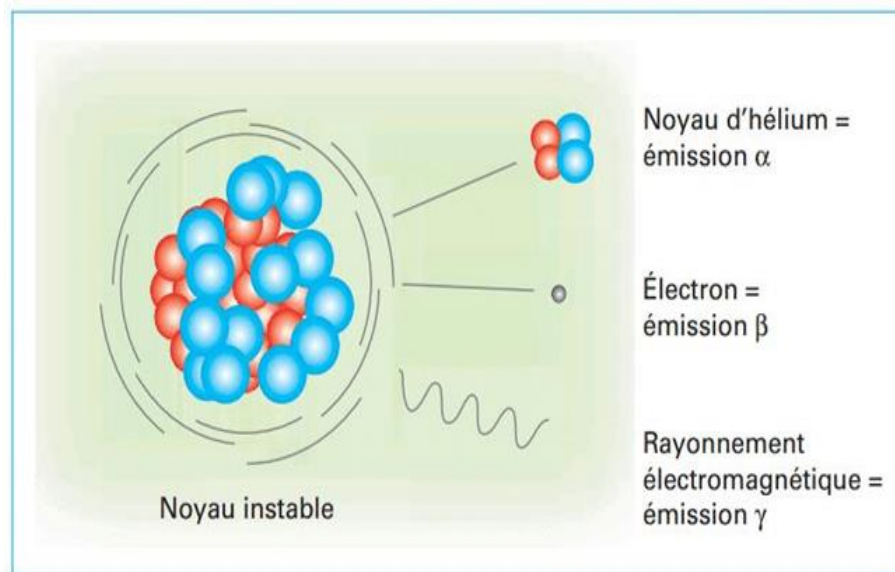


Figure (7) : Désintégration d'un noyau instable (Benali, 2016)

La radioactivité est un phénomène naturel lié à la structure de la matière. Tous les corps (gaz, liquides, solides) sont composés d'atomes dont certains sont instables et émettent des rayonnements. Ces atomes instables (radio éléments), se transforment spontanément en perdant de l'énergie, et reviennent progressivement à un état stable. Ils émettent alors des particules, dont le flux constitue un rayonnement porteur d'énergie spécifique du radio élément qui l'émet. Ces éléments sont dits « ionisants », car par leur interaction avec la matière, ils peuvent l'ioniser, en lui enlevant un ou plusieurs électrons (Gallais, 2010).

Le pouvoir ionisant d'un rayonnement dépend de sa nature (α , β , gamma, X, neutrons) et des énergies de chacune des émissions. Généralement, un radio élément émet plusieurs types de rayonnements à la fois. Cette activité diminue avec le temps et l'élément revient à son état initial.

I.3. Rayons gamma

Les rayons gamma sont des photons énergétiques qui proviennent de plusieurs sources, dont le césium 137, l'iridium 192, l'or 198, le technétium 99 et le cobalt 60 (Benali, 2016), ils sont ionisants et possèdent un pouvoir pénétrant très élevé. Ils peuvent en effet parcourir quelques centaines de mètres dans l'air, ils traversent les vêtements et le corps et ne sont arrêtés que par des écrans protecteurs à épaisseur de béton, d'acier ou de plomb (figure 8).

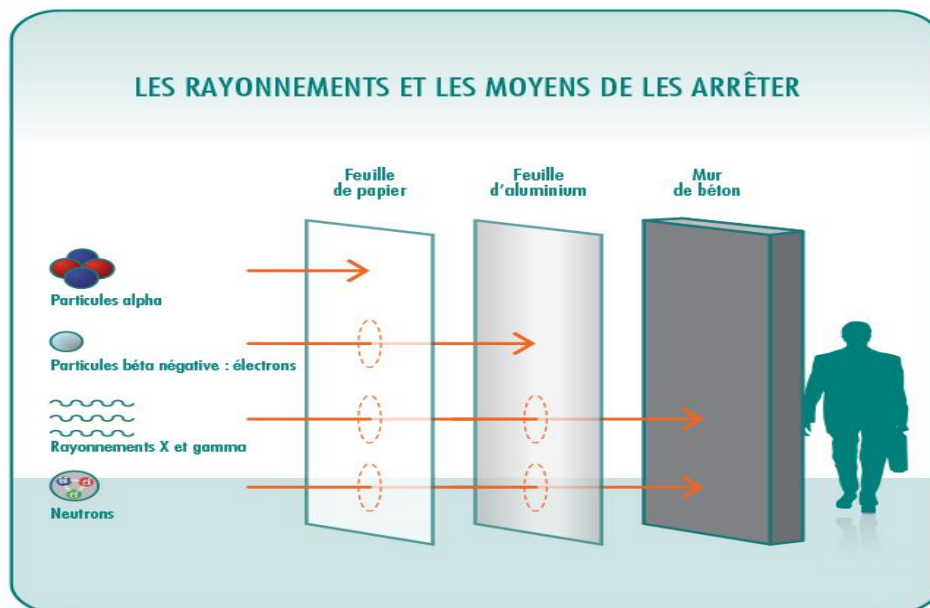


Figure (8) : Pénétration des différents types de rayons dans la matière (<https://www.nordion.com/>)

Pour ioniser les denrées alimentaires, on utilise principalement comme source de rayonnement, les deux radio-isotopes suivants :

- Le cobalt 60, obtenu par bombardement neutronique dans des réacteurs nucléaires du cobalt 59, seul isotope stable du cobalt. Le Co 60 se désintègre en plusieurs étapes en restituant au milieu extérieur de l'énergie sous forme de deux rayonnements gamma avec des ondes d'énergie respectivement de 1,17 et 1,332 Mev.
- Le césium 137 se désintègre, en émettant une seule onde d'énergie relativement faible (0.067 Mev).

Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

Laizier (1999) confirme que les caractéristiques des rayonnements ionisants utilisés pour les traitements agroalimentaires obéissent à deux conditions essentielles qui concernent leur énergie, en effet, elle est insuffisante pour activer les atomes avec lesquels ils interagissent pour créer une radioactivité quelconque, et suffisante pour rompre les liaisons chimiques, créant des ions et des molécules excitées ainsi que des radicaux libres qui induisent des modifications de nature chimique. Les rayons gamma sont caractérisés par une fréquence qui est supérieure à 10^{20} Hz et une longueur d'onde inférieure à 10^{-12} nm et par une production d'énergie supérieure à 1MeV.

L'énergie utilisable dans l'industrie agroalimentaire est limitée à 5 Mev. Compte tenu de ces limitations, les rayons gamma ne peuvent en aucun cas perturber le noyau de l'atome et de ce fait induire dans la matière ionisée le phénomène de la radioactivité (**Strasser, 1997**). Il faudrait pour créer de la radioactivité un domaine d'application énergétique qui se situe au-delà de 12 à 13 Mev (**Saint-Lebe et al, 1986 ; Raffi, 1999**). Ces conditions de traitement assurent des possibilités appréciables de pénétration (tableau 4) sans pour autant provoquer des modifications non recherchées au sein de la matière traitée.

Tableau (4) : Pénétration d'un rayonnement gamma en fonction de la puissance émise

Puissance émise (Mev)	Pénétration (cm)
1	0,51
2	1,02
4	2,54
6	3,56
10	6.35

Raffi (1999)

I.4. Unité de dose et dosimétrie

La dose d'irradiation est la quantité d'énergie de rayonnement absorbée par les aliments lorsqu'ils passent à travers le champ de rayonnement pendant le traitement. Elle constitue un facteur décisif pour cette méthode de conservation (**Benali, 2016**). L'unité de dose est le Gray (Gy). Elle se définit comme l'énergie moyenne communiquée par les rayons à une masse de matière. Par définition, 1 Gy est égal à 1 joule par kilogramme (l'ancienne unité est le rad, elle

Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

est égale à 0,01Gy). La dose recommandée par la commission FAO/OMS/AIEA est de 10000 Gy, c'est-à-dire 10 KGy. Cela correspond en réalité à une quantité très faible d'énergie qui ne risque pas de modifier les aliments et de les rendre impropres à la consommation (**Strasser, 1999**).

L'exposition à des doses d'ionisation gamma inférieures à 10KGy est efficace pour améliorer la sécurité alimentaire par l'inactivation des microorganismes pathogènes tels que *Salmonella* (**Caulfield et al, 2008**).

La dosimétrie consiste à mesurer ou à estimer les doses de rayonnement exprimées par la quantité d'énergie cédée par le rayonnement ionisant à la matière (**Kirsh, 1999**). Lors d'un traitement ionisant, une bonne connaissance de la quantité d'énergie déposée dans un produit donné, c'est à dire de la dose de rayonnement est nécessaire et devient essentielle, lorsqu'il s'agit de denrées alimentaires.

La dosimétrie- technique de mesure de la dose déposée- peut fournir la preuve que le procédé d'ionisation est bien appliqué selon les conditions requises (**Marchioni & Kuntz, 1997**), elle contribue également à évaluer les modifications causées par les rayonnements (de tout type) dans un échantillon ionisé.

I.5. Mode d'action des rayons gamma et principe de l'ionisation

La matière est composée de molécules qui sont, elles même composées d'atomes comportant un noyau constitué de protons et de neutrons autour duquel gravite un nuage d'électrons qui maintiennent l'intégrité structurale de l'atome (**Roux, 1994**).

Tous les éléments chimiques possèdent des isotopes avec le même nombre de protons et un nombre différent de neutrons. Les isotopes instables appelés « radio-isotopes » subissent une désintégration spontanée qui induit une émission de rayonnement. Le noyau d'un isotope radioactif se désintègre de lui-même dans le cadre d'un processus appelé désintégration radioactive, processus au cours duquel il émet l'énergie excédentaire afin de devenir stable. Cette énergie est appelée rayonnement.

Le rayonnement ionisant désigne le rayonnement qui provient de sources naturelles et artificielles, il possède suffisamment d'énergie pour éjecter les électrons de leur orbite autour des atomes et perturber l'équilibre entre électrons et protons, ce qui a pour effet de charger

positivement l'atome. Les molécules et les atomes chargés électriquement portent le nom d'ions (Gallais, 2010).

Pour Roux (1994) et Raffi (1995), les rayons gamma éjectent par effet « compton » des électrons primaires des atomes constitutifs de la matière alimentaire, ces électrons ont une énergie beaucoup plus grande pour être absorbée directement, ils conduisent seulement à la formation de molécules excitées (par déplacement des électrons d'une couche à une autre), ou à une ionisation en cascade (éjection d'électrons secondaires, tertiaires...). Ce phénomène se poursuit jusqu'à ce que l'énergie du dernier électron soit équivalente à l'énergie de rupture des liaisons chimiques au sein d'une molécule, c'est à ce stade qu'apparaissent les radicaux libres qui en se recombinant sont à l'origine de la formation des « produits de radiolyse ». La figure (9) montre le principe d'action des rayons gamma

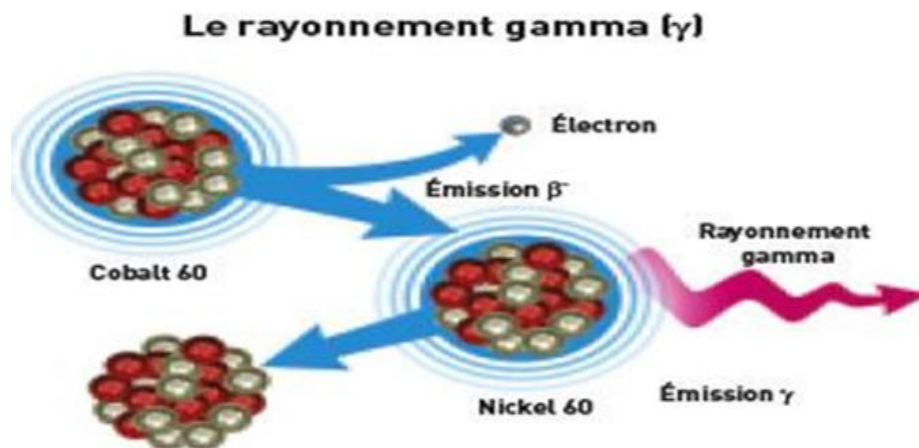


Figure (9) : Mode d'obtention des rayons gamma à partir du cobalt 60 (Bouftouh, 2008)

II. Application de l'ionisation gamma en agroalimentaire

Au cours des dernières décennies, de nouvelles technologies sont apparues dans le monde entier pour la production, la transformation et la conservation des aliments, Ces nouvelles techniques sont en cours de développement en raison de la demande moderne d'aliments plus frais, d'une valeur nutritionnelle plus élevée et plus naturels, avec un minimum d'additifs alimentaires, sans toxines ni allergènes (Heldman & Lund, 2010 ; Brody & Labuza, 2014). Grâce à ces technologies émergentes, des aliments de meilleure qualité sont produits avec des attributs plus sûrs puisqu'ils ont des caractéristiques de qualité supérieure et ont une durée de conservation prolongée et sont vendus à un coût raisonnable. Dans tous ces domaines, l'ionisation des denrées alimentaires a démontré des avantages précieux et pratiques lorsqu'elle est intégrée dans un

Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

système établi pour la manipulation et la distribution sûres des produits alimentaires (Follett, 2014).

A cet égard, Soika & Delincée, (2000), rapportent que le traitement des aliments à l'énergie ionisante et aux rayons gamma, vient d'être appliqué comme un mode de conservation qui contribue à prolonger la durée de vie des denrées alimentaires et à réduire les problèmes de santé causés par les micro-organismes pathogènes (tableau 5).

Parmi les produits approuvés pour l'ionisation, on compte les fruits et légumes, les viandes (notamment le poulet et le bœuf haché), les fruits de mer et poissons, les racines et tubercules, les céréales, les épices et herbes aromatiques et infusions. Sur le marché de certains pays européens tels que la Belgique, la France ou les Pays-Bas, on peut principalement trouver des crevettes, des cuisses de grenouilles et des épices ionisées.

D'après (Boisseau, 1991), les applications de l'ionisation des aliments à des doses variant entre 0,10 à 50 KGy ou plus (doses recommandées), provoquent des effets proportionnels à la dose utilisée. Les conséquences sur la matière organique sont différentes d'une dose à une autre et sont fonction des conditions d'ionisation. Les traitements ionisants ne remplaceront pas les autres procédés utilisés, mais seront plutôt une technique complémentaire des méthodes classiques tels que le froid, la cuisson et les traitement chimiques.

Tableau (5) : Doses d'ionisation nécessaire pour obtenir la réduction décimale* d'une population de microorganismes

	Souche	Dose (KGy)
Bactéries Gram négatif	<i>Pseudomonas</i>	0,06
	<i>Escherchiacoli</i>	0,10
	<i>Salmonella</i>	0,70
Bactéries Gram positif	<i>Lactobacillus</i>	0,10
	<i>Streptococcus feacalis</i>	0,50-1
	<i>Micrococcus radiodurans</i>	8
<i>Clostridium botulinum</i> (spore)		3,7
Moisissures	<i>Penicillium</i> (spore)	0,3
	<i>Cladosporium</i> (spore)	1,3
Virus	Fièvre aphteuse	4,8
	Poliomyélite	14

(Adrian, 1989)

*La réduction décimale est une mesure classique qui permet de déchiffrer la sensibilité d'un micro-organisme à un agent agressif (chaleur, désinfectant, etc.). Elle consiste à déterminer les conditions ne laissant subsister que le dixième de la population initiale.

II.1. Processus de l'ionisation des aliments

La centrale d'ionisation est constituée d'une « casemate » qui abrite le dispositif d'ionisation, d'un système de « convoyage des denrées alimentaires » et d'une zone dite de « stockage ». L'ensemble obéit aux règles de bonne pratique en vigueur dans l'industrie alimentaire et dans le nucléaire. La source d'énergie doit être installée à l'intérieur d'un blindage spécialement conçu afin de limiter l'exposition du personnel aux radiations. Le principe de fonctionnement consiste à faire circuler les produits alimentaires autour des sources isotopiques émettrices des radiations ionisantes. Pour éviter que l'ionisation ne se fasse que d'un seul côté, il est procédé à un retournement de la matière.

Le procédé d'ionisation des aliments est similaire à la technique d'inspection des bagages par rayons X dans les aéroports. Les aliments sont placés sur un convoyeur qui traverse une chambre à parois épaisses renfermant une source de rayonnement ionisant, qui bombarde les aliments exposés.

Les installations d'ionisation des aliments sont conçues et disposées différemment selon l'objectif visé, elles sont de deux types, permettant une exploitation en continu ou en discontinu (**Lacroix, 1991**).

- Dans les installations en discontinu, on ionise une quantité donnée d'aliments. La cellule dans laquelle sont placés les aliments irradiés est déchargée, on procède à la mise en place d'un nouveau lot, qui est à son tour ionisé.
- Dans les installations d'ionisation en continu, les aliments circulent tous au même temps à travers la cellule à une vitesse déterminée de façon à recevoir la dose requise.

Le plus souvent, l'ionisation se fait à poste fixe, cependant, une installation d'irradiation mobile est parfois utile. Il arrive que des aliments de production saisonnière ne puissent être traités dans une région donnée que pendant une durée limitée. En pareil cas, il est avantageux d'amener l'installation d'ionisation sur place au lieu de transporter les aliments dans une unité fixe. Il en est de même pour certains produits d'origine marine, où l'ionisation doit être effectuée dans les plus brefs délais après la pêche. La figure (10) illustre un exemple de centrale d'ionisation.

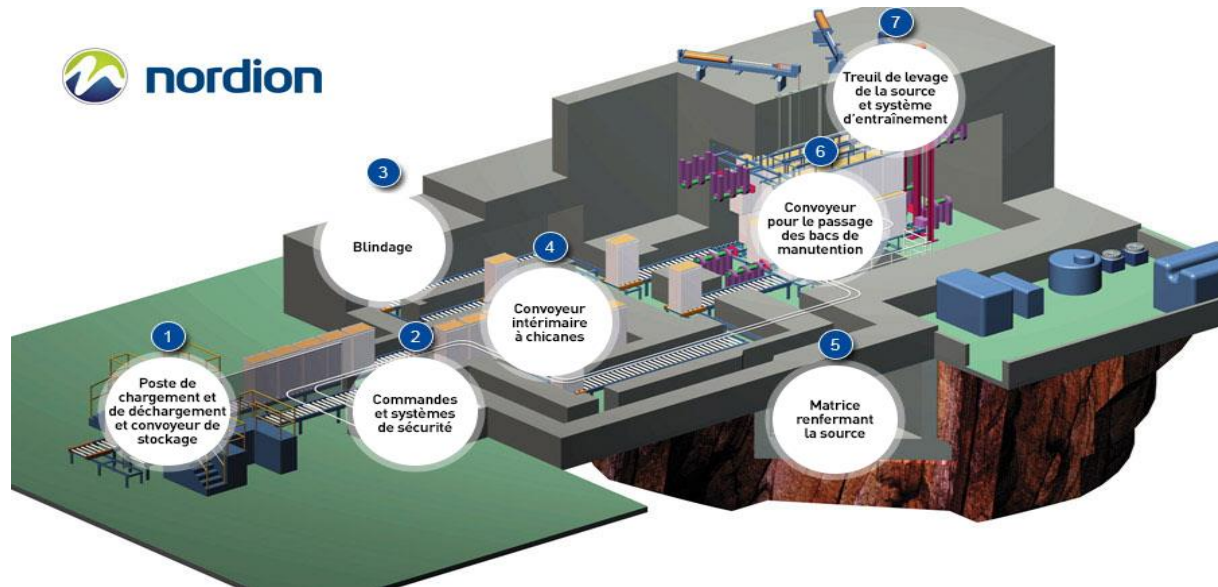


Figure (10) : Schéma d'une centrale d'irradiation (<https://www.nordion.com/>)

II.2. Salubrité des aliments ionisés et aspects réglementaires

De nombreuses études ont été menées au cours des 100 dernières années sur la salubrité et l'innocuité des aliments ionisés. Une terminologie a été développée dans ce sens (**Komolprasert, 2007**). Comme mentionné précédemment, ce traitement est un procédé non thermique utilisé pour la conservation des aliments, même à des doses élevées, l'ionisation ne transmet pas de chaleur à l'aliment et la qualité nutritionnelle de l'aliment n'est généralement pas affectée (**Roberts, 2016**). On ne peut provoquer la radioactivité des produits alimentaires aux doses établies par les organismes internationaux, que ce soit au moyen d'énergie gamma ou d'appareils de faisceau d'électrons.

Le processus d'ionisation peut réduire la contamination microbienne dans les aliments, ce qui permet d'améliorer la qualité microbiologique et de prolonger la durée de leur conservation.

Il existe un cadre établi de normes internationales pour l'irradiation des aliments couvrant la santé humaine, la protection des plantes, l'étiquetage, l'administration des doses, l'assurance qualité et la gestion des installations (**Maherani et al, 2016**).

L'ensemble des recherches menées sur le plan international a permis au comité d'experts AIEA/FAO/OMS réunis en 1980, de conclure que le traitement ionisant des denrées alimentaires ne pose pas de problème de santé pour l'homme à condition que la dose moyenne n'excède pas les 10 kGy. De plus, **Soika & Delincée (2000)** rapportent qu'une évaluation de la

Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

méthode de conservation des aliments par ionisation a été entreprise par un comité mixte d'experts en matière de nutrition de l'OMS, de la FAO et de l'AIEA en Septembre 1997, ils sont arrivés à conclure que les faits observés dans la plupart des études menées sur ce procédé, donnent à penser que dans la gamme des doses faibles (jusqu'à 1 kGy) utilisées pour ioniser les denrées alimentaires, les pertes en éléments nutritifs sont insignifiantes et que dans la gamme moyenne (1 à 10 kGy), certaines vitamines peuvent disparaître si l'ionisation et le stockage ne se font pas à l'abri de l'air. En 1998, le comité mixte a levé les limites de doses, le seul restant est celle qualifiée comme limite organoleptique. L'importance de la déperdition d'éléments nutritifs par ionisation dépend de nombreux facteurs tels que la composition des aliments, les doses de rayonnement, la température du milieu, la présence ou l'absence d'air en cours d'ionisation et de stockage.

La mention « traité par rayonnements ionisants » ou « traité par ionisation » ainsi que le logo international « RADURA » de couleur verte (figure 11), doivent figurer selon les consignes de l'AIEA, sur l'emballage ou le conditionnement ainsi que sur les documents d'accompagnement des denrées alimentaires ionisées, ou qui contiennent des ingrédients ionisés.

Le symbole "RADURA" a été créé et imposé par l'AIEA, pour représenter le traitement par ionisation. Il présente une plante (point et deux feuilles), dans un emballage fermé (cercle), irradiée par des rayons ionisants traversant l'emballage jusqu'à l'aliment (lignes pointillées). L'étiquetage est une étape importante qui permet de rassurer le consommateur à qui revient le choix de consommer ou non ce type de produits. En effet, une fois que les consommateurs connaissent l'identification des produits, il est facile pour eux d'accepter les risques liés à l'achat de ces produits alimentaires (Maherani *et al*, 2016).



Figure (11) : Signe de l'irradiation : Logo « RADURA » (Maherani *et al*, 2016)

II.3. Acceptabilité des produits alimentaires ionisés

Même si les scientifiques reconnaissent que l'ionisation des aliments est un procédé sûr et efficace, il peut toujours y avoir un préjugé négatif ou un manque d'information, ce qui peut être un facteur limitant lorsqu'on s'adresse aux consommateurs. Plusieurs auteurs (**Mehmetoglu & Demirkol, 2007 ; Junqueira-Gonçalves et al, 2011**) ont analysé l'opinion des consommateurs et leur disposition à accepter des produits irradiés. **Junqueira-Gonçalves et al (2011)** ont indiqué que les personnes interrogées avaient un manque d'information et de compréhension de l'ionisation des aliments. En bref, 45,9% des personnes interrogées ont répondu que les aliments irradiés signifient aliments radioactifs, et 57,1 % des personnes ne savaient pas si l'ionisation gamma pouvait causer des dommages à la santé humaine et/ou à l'environnement. En général, les consommateurs ont perçu l'ionisation gamma comme une technologie risquée en raison de la nature cancérigène des aliments ionisés, des risques liés à l'utilisation de la technologie d'ionisation, du risque de fuite (radioactivité) et des risques associés au transport des matières radioactives (**Resurreccion et al, 1995**). Cette perception négative de la nouvelle technologie a été étudiée par **Cardello (2003)**, qui a lié les risques perçus au manque de connaissances du consommateur, du fait qu'il n'est pas au courant des processus appliqués aux aliments achetés, soit parce qu'ils ne sont pas à sa portée, soit parce qu'il n'est pas en mesure de les comprendre. Par conséquent, les consommateurs ne savent pas si ce qu'ils consomment est ionisé ou non, ni si cela peut avoir des effets négatifs sur leur santé. Néanmoins, le marketing a montré que les consommateurs sont prêts à acheter des produits ionisés s'ils sont informés des effets et du processus de l'ionisation. De nombreuses études de marché réalisées au cours des quatre dernières décennies ont démontré que la majorité des consommateurs choisissent des produits ionisés plutôt que des produits non ionisés après avoir pris connaissance des faits et compris les avantages (**Marcotte, 1989**).

III. Effets de l'ionisation gamma sur les produits alimentaires

Les effets de l'ionisation gamma sur la matière alimentaire sont proportionnels à la dose appliquée, les plus utilisées varient de 0,1 à 40KG. Les conséquences sont différentes d'une application à une autre en fonction de l'effet recherché. Les traitements ionisants ne remplaceront pas les autres procédés industriels, mais seront plutôt une technique complémentaire des méthodes classiques (froid, traitements thermiques, etc) qui peuvent agir en synergie avec ceux-ci (**Raffi, 1995 ; Raffi, 1999**).

Partie I : Contexte bibliographique

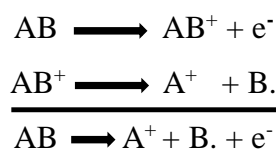
Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

Dans tous les cas, ce sont surtout les effets biologiques des rayonnements qui sont recherchés, il s'agit d'empêcher le développement des éléments biologiques indésirables (virus, bactéries,). L'ionisation exerce des effets beaucoup plus importants que l'organisation de la matière est complexe, c'est la raison pour laquelle l'homme et les espèces animales supérieures sont particulièrement plus sensibles à l'énergie qu'ils absorbent. A l'inverse, l'organisation rudimentaire des virus leur permet de supporter une quantité d'énergie plus importante (**Adrian, 1989**).

L'importance des effets induits dépend de l'état dans lequel se trouve la matière traitée. En phase solide où les interactions moléculaires sont limitées, seul intervient l'effet direct du rayonnement. En phase aqueuse apparaît l'effet indirect dû à l'action sur le soluté et l'apparition des produits de radiolyse de l'eau. Selon **Goodman et al (1989)** et **Goodman et al (1994)**, dans l'ionisation des aliments, c'est principalement l'interaction des radicaux avec les molécules d'eau présentes qui est déterminant. Cette interaction génère des radicaux primaires responsables d'une grande part des changements chimiques et biologiques qui apparaissent et c'est la formation du radical hydroxyle (OH·) hautement réactif et instable, qui est responsable de ces effets.

Selon **Goodman et al, (1989)**, **Lacroix (1991)** et **Goodman et al (1994)**, l'effet chimique du rayonnement consiste en un arrachement d'électrons de la matière ionisée. Ces électrons acquièrent une grande énergie de l'ordre de Mev et vont interagir avec les électrons périphériques des atomes et molécules pour donner des électrons secondaires, il apparaît alors des atomes et des électrons excités qui donnent naissance à des radicaux libres responsables des effets chimiques au cours de l'irradiation, en effet ces radicaux sont très instables ils peuvent soit former entre eux de nouvelles liaisons, et donc nouvelles espèces moléculaires, soit rompre d'autres liaisons et induire de nouveaux radicaux libres, ils donnent alors ce qu'on appelle « les produits de radiolyse ». Ces produits, sont proportionnels aux doses inférieures à 10 KGy appliquées dans les IAA (**Mafart, 1991**). Les effets chimiques sont le plus observés chez les constituants organiques de l'aliment exposé aux rayonnements : glucides, lipides, protéines et acides nucléiques (**Gallien, 1987**).

Les réactions primaires de la radiolyse par l'ionisation d'une molécule AB (où l'on constate une coupure de la liaison A-B), se schématisent comme suit :



Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

A⁺ et AB⁺ : ions

B. : radical libre

e⁻ : électron

Si l'ionisation aux rayons gamma a d'abord été utilisée pour des raisons sanitaires, très rapidement il est apparu que l'industrie agroalimentaire pouvait en tirer d'autres bénéfices qualifiés de technologiques. Qu'ils soient sanitaires ou de nature technologique, les effets recherchés sont fonction de la dose appliquée. Pour le traitement des aliments, les doses utilisées varient entre 1 et 10 kGy (**Denil & Lannoye, 2002**).

A faibles doses (jusqu'à environ 1 kGy), les rayons gamma provoquent l'inhibition de la germination des bulbes et tubercules (pommes de terre, oignons, ail, gingembre), ainsi que la destruction des insectes et inactivation des parasites (blé, farines, légumes à cosses, fruits frais et séchés, viande et poisson séchés), avec retardement de la maturation et de l'altération physiologique des aliments.

L'application de doses moyennes (de 1 à 10 kGy), est employée dans la pasteurisation à froid des aliments par ionisation ou « Radurisation », par réduction de la charge microbienne ainsi que du nombre de microorganismes pathogènes non sporulants (crevettes, épices, herbes séchées, viandes, poissons, volailles, crustacés). Tandis que les fortes doses (de 10-50 kGy), sont utilisées pour la stérilisation des aliments par irradiation ou « Radappertisation » et ceci dans la stérilisation des aliments (repas congelés pour malades) et dans l'élimination des virus.

Les effets de nature technologique sont recherchés dans l'application de doses qui atteignent 5 kGy pour l'attendrissement des fruits secs, alors que les doses de 5 à 10 kGy, sont susceptibles de diminuer la durée de torréfaction du café. Par contre, celles qui atteignent les 10 kGy, elles sont utilisées pour inhiber la flatulence lors de la consommation des haricots et des petits pois. De plus, l'application de doses de 3 à 30 kGy, diminuent la durée de cuisson des potages déshydratés prêts à l'emploi.

L'ionisation aux rayons gamma influe également sur la qualité technologique de farines issues de blés panifiables et par conséquent sur la technologie de la panification. A travers l'utilisation des rayons gamma dans la lutte contre les insectes et les parasites lors du stockage du blé, ces rayons vont exercer une influence sur les caractéristiques rhéologiques et technologiques de la farine extraite de ces grains de blé ionisés et par conséquent sur les propriétés physiques et sensorielles des pains fabriqués à partir de cette farine. **Anwar et al (2015)** rapportent que

l'ionisation gamma a amélioré la qualité du produit après cuisson par une augmentation du volume du pain de mie surtout à la dose de 6 KGy. **Hammad et al (2017)**, soulignent que la dose de 5KGy a amélioré les caractéristiques rhéologiques de la pâte issue d'une farine d'un blé ionisé aux rayons gamma et n'a pas entraîné de modifications des propriétés organoleptiques du pain fabriqué à partir de cette farine. De leur côté, **Farag et al (1996)** rapportent que la dose de 2 kGy peut être recommandée pour conserver la qualité de la farine de blé et éviter le développement de bactéries pathogènes et d'insectes. Les doses plus élevées (4-8 kGy) peuvent être employées pour décomposer les mycotoxines. Il s'ensuit ainsi des changements de qualité qui peuvent être surmontés en utilisant quelques produits secondaires pour obtenir un pain plus acceptable de moindres changements dans les caractères technologiques et organoleptiques.

IV. Effets de l'ionisation gamma sur les plantes et le blé

Les effets de l'ionisation aux rayons gamma sur les plantes diffèrent selon le type d'ionisation (aiguë ou chronique), le débit de dose, la dose appliquée, les paramètres physiologiques tels que l'espèce, la variété, le stade de développement au moment de l'irradiation et même entre les génotypes d'une même espèce (**Boyer et al, 2009**). Selon **Qin et al (2007)**, les plantules émergentes sont le stade de développement le plus sensible aux rayonnements. En effet, la graine est un stade particulier du cycle de vie d'une plante, caractérisée par une plus grande résistance aux facteurs environnementaux en raison de ses caractéristiques structurelles et métaboliques, par rapport aux organes à différents stades de vie. Il existe également des différences de sensibilité à l'ionisation entre les graines sèches et les graines fraîches en raison de leur teneur en eau et de leurs structures qui influent sur la capacité de pénétration des ions à atteindre l'embryon. De plus, l'organisation complexe des tissus semble être à l'origine de la résistance aux effets nocifs et mutagènes des rayonnements car le statut multicellulaire permet la réparation rapide des cellules et des tissus (**Durante & Cucinotta, 2008**).

Dans le domaine de l'ionisation des plantes, les doses varient de seulement quelques Grays (Gy) jusqu'à plusieurs centaines de Gy dans les ionisations expérimentales, mais peuvent atteindre des KGy dans l'agroalimentaire ou pour la sélection variétale (**Maity et al, 2009**). En outre, la réponse à la gamme de doses appliquées dépend fortement de l'espèce.

Les rayons gamma entrent dans la catégorie des rayonnements ionisants qui interagissent avec les atomes ou les molécules pour produire des radicaux libres dans les cellules. Ces radicaux peuvent endommager ou modifier d'importants composants des cellules végétales en affectant

la morphologie, l'anatomie, la biochimie et la physiologie des plantes de manière différentielle, en fonction du niveau d'ionisation. Ces effets comprennent des changements dans la structure cellulaire et le métabolisme des plantes, telles que la dilatation des membranes, l'altération de la photosynthèse, la modulation de la croissance des plantes, la modulation du système antioxydant et l'accumulation de composés phénoliques (**Kim et al, 2009 ; Wi et al, 2005**).

IV.1. Effets sur la germination

La reprise de la croissance active dans l'embryon d'une graine est appelée « germination ». Les effets de l'exposition aux rayonnements sur la germination sont variables. Le taux et le pourcentage de germination peuvent augmenter, diminuer ou rester inchangés après ionisation.

Les expositions aux doses élevées sont généralement inhibitrices (**Kumari & Singh, 1996**), tandis que certains auteurs font référence au concept d'hormèse, qui comprend la stimulation des différents processus biologiques (germination plus rapide, croissance accrue des racines et des feuilles), qui se produit, lorsque les graines sont soumises à une ionisation avec de faibles doses d'une source de rayonnement (**Thapa, 1999**). Les effets stimulants des rayons gamma sur la germination peuvent être attribués à l'activation de la synthèse de l'ARN ou à la synthèse des protéines, qui se produit au cours du stade précoce de la germination. Ce résultat peut être dû à l'augmentation de l'activité respiratoire ou du métabolisme de l'auxine dans les plantules.

L'incapacité des semences à germer à des doses plus élevées de rayons gamma a été attribuée à plusieurs raisons : changements histologiques et cytologiques ; perturbation et désorganisation de l'enveloppe de la graine proportionnelle à l'intensité de l'exposition aux rayons gamma et à une mitose altérée dans les zones méristématiques pendant la germination (**Lokesha et al. 1992**). Elle peut être aussi attribuée à la formation de radicaux libres dans les graines ionisées (**Kovács & Keresztes, 2002**).

IV.2. Effets sur la croissance et le développement

La croissance et le développement des plantes cultivées ne se font pas à un rythme constant ou fixe dans le temps. Le développement des plantes est un terme qui comprend un large éventail de processus par lesquels les structures végétales naissent et mûrissent au fur et à mesure de la croissance. Tout changement dans le modèle de croissance affectera finalement la maturité et le rendement (**Melki & Dahmani, 2009**). Ceci dit, l'ionisation des semences aux rayons gamma aurait sans doute des effets prononcés sur la croissance des plantes et pourrait avoir des effets

Partie I : Contexte bibliographique

Chapitre II. Ionisation et rayons gamma. Effets sur les aliments

stimulants ou inhibiteurs sur les paramètres morphologiques et affecter ainsi le rendement des plantes en terme de croissance.

Il a été généralement observé que de faibles doses de rayons gamma stimulent la division cellulaire, la croissance et le développement des plantes. Cependant, la manière dont le rayonnement influence la croissance et le développement des plantes est encore inconnue et les données disponibles restent controversées. En effet, l'ampleur des effets hormétiques rapportés des rayonnements est généralement faible, et ne fournit souvent pas de preuve critique que l'augmentation significative du rendement des cultures est dû à l'ionisation des graines (**Miller & Miller, 1987**).

Les modifications morphologiques, structurelles et fonctionnelles dépendent de l'intensité et de la durée de la dose appliquée. Les observations fréquemment notées chez les plantes ionisées à faible ou à dose élevée, étaient l'augmentation ou l'inhibition de la germination, de la croissance et d'autres réponses biologiques (**Wi et al, 2005**).

La relation entre la croissance des plantes ionisées et la dose d'ionisation gamma a été mise en évidence en étudiant les changements morphologiques et la croissance des plantes. Les faibles doses inhibent apparemment la synthèse de l'auxine alors que des doses plus importantes peuvent détruire l'activité de l'auxine directement (**Liu et al, 2008**).

Aux doses faibles, l'ionisation gamma a eu un effet stimulant sur les attributs du rendement, y compris le nombre de gousse ou d'épis et de grains par plante, le nombre de fleurs par plante, la germination, etc. Une inhibition de ces mêmes attributs à des doses plus élevées chez des légumineuses et des céréales a été aussi notée (**Khan et al, 2000**).

Selon **Lage & Esquibel (1995)** et **Momiyama et al (1999)**, l'inhibition de la croissance par l'ionisation gamma peut être liée à une relation entre la synthèse de l'auxine et la biogénèse de l'ADN. Cette relation permet d'émettre ces postulats :

- (1) que l'ADN est requis pour être préalablement synthétisé de manière séquentielle à la formation de l'auxine, la radiation va donc intervenir dans la formation de l'acide nucléique ;
- (2) que le blocage est dans la synthèse de l'auxine.
- (3) que l'effet du rayonnement se produit sur une entité indéfinie dans la réaction qui précède et qui est essentielle pour la synthèse de l'ADN et de l'auxine.

IV.3. Effets biochimiques et physiologiques

L'ionisation des plantes aux rayons gamma exerce aussi des effets de nature biochimique et physiologique. D'après **Barros et al (2002)** et **Maity et al (2004)**, les teneurs totales en protéines et en glucides diminuent avec l'augmentation des doses suite à une augmentation des réactions métaboliques et de l'activité des enzymes hydrolysantes dans les graines en germination. Des différences subtiles dans la dégradation d'oligosaccharides dans les légumineuses transformées ont été signalées par **Machaiah & Pednekar (2002)**. Il y a eu une diminution des teneurs en protéines totales et en glucides avec l'augmentation de la dose des rayons gamma dans du blé et du riz (**Hagberg & Persson, 1968 ; Inoue et al, 1975**).

Cependant, de faibles doses de rayons gamma ont amélioré la synthèse de la chlorophylle en rendant les systèmes enzymatiques actifs, **Osama (2002)**, rapporte qu'il y a eu une amélioration des composantes de rendement et des paramètres chlorophylliens du blé tendre, et cela en fonction des doses d'ionisation. A des doses plus élevées, **Kovács & Keresztes (2002)** ont rapporté une inhibition de la synthèse de la chlorophylle dans le blé.

Il a été également constaté que les rayons gamma provoquent une modulation des protéines en induisant l'apparition et ou la disparition de certaines bandes de protéines (**Rashed et al, 1994**). **Yoko et al (1996)** ont étudié l'effet de l'ionisation gamma sur l'ADN génomique du maïs, du soja et de l'orge, ils ont conclu que les grands brins d'ADN étaient brisés en petits brins à faible dose d'ionisation, tandis que les petits et grands brins d'ADN étaient brisés à des doses d'ionisation plus élevées. Parallèlement à cela, **Marchenko et al (1996)** et **Ussuf et al (1996)** ont montré que les cellules végétales ionisées possèdent un mécanisme d'autoprotection. Ce mécanisme fonctionne en augmentant la synthèse d'acides aminés soufrés (cystéine, méthionine,...) et en activant des systèmes enzymatiques (superoxyde dismutase) suivie du glutathion, qui peuvent protéger les cellules végétales en éliminant les radicaux libres, et de là libérer des substances protectrices dans les compartiments de la plante (**Qui et al, 2000**).

Partie II : Etude expérimentale
Chapitre I : Matériel et méthodes

Partie II. Etude expérimentale

Chapitre I. Matériel et méthodes

1. Objectif et lieu de travail

La conservation des grains de céréales par l'application de l'ionisation aux rayons gamma au cours du pré-semis est considérée parmi les méthodes les plus efficaces pour améliorer la production végétale, les composantes du rendement et la composition chimique, ainsi que d'autres paramètres d'ordre technologique. L'objectif de ce travail est l'étude de l'effet de l'ionisation aux rayons gamma sur les qualités physiologiques et technologiques d'une variété locale de blé tendre (Anza), ainsi que la possibilité d'améliorer ces potentialités par l'application de faibles doses.

L'expérimentation a été réalisée en effectuant une culture d'une variété de blé tendre locale (Anza) sur deux années, en plein champ à la station expérimentale de l'école Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, ENSA, Alger (Algérie). L'analyse des paramètres technologiques et biochimiques a été réalisée au niveau des laboratoires du groupe SIM (Semoulerie Industrielle de la Mitidja, Ain-Romana, Mouzaia, Blida), où le broyage du blé et le conditionnement de la farine a été effectué.

2. Matériel végétal et démarche expérimentale

Le matériel végétal utilisé est une variété de blé tendre (Anza) issue de la récolte 2012/2013 et provenant de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC, Alger, Algérie). Cette variété est parmi l'une des variétés les plus cultivées en Algérie avec des rendements annuels satisfaisants, et dont les caractéristiques rapportées par **Boufenar-Zaghouane & Zaghouane (2006)** sont citées dans le tableau (6).

Tableau (6) : Caractéristiques de la variété (Anza)

Caractéristiques morphologiques	Compacité de l'épi : demi lâche
	Couleur de l'épi : blanc
	Hauteur de la plante à maturité : courte
Caractéristiques culturales	Alternative : hiver
	Cycle végétatif : précoce
	Tallage : fort
	Résistance au froid : résistante
	Résistance à la verse : résistante
	Résistance à la sécheresse : résistante

Boufenar-Zaghouane & Zaghouane (2006)

Les grains ont subi un nettoyage manuel afin de les débarrasser de toutes les impuretés, ils ont été répartis en trois lots contenant chacun trois sacs de 500g et ont été soumis à un traitement d'ionisation au moyen d'une source de Cobalt 60 dont l'activité est de 17500 curies avec un débit de dose de $18 \pm 0,5$ Gy/mn, au Centre de Recherches Nucléaires d'Alger (CRNA). Pour mesurer la quantité d'énergie réellement absorbée, la dosimétrie de « FRICKE » a été utilisée. Elle est basée sur le dosage du fer ferrique formé à partir de l'oxydation d'une solution de fer ferreux par les espèces formées à partir de la radiolyse de l'eau.

Les trois lots traités par les rayons gamma sont représentés par le lot **1 (dose 0,10KGy)**, le lot **2 (dose 0,15KGy)** et enfin le lot **3 (dose 0,20KGy)**. Le lot **Témoin** non irradié est exprimé par la dose **0 KGy**. Les échantillons et leurs témoins sont conservés à 6°C et remis en équilibre au niveau du laboratoire avant chaque utilisation.

2.1. Etude des paramètres physiologiques et suivi du cycle végétatif

2.1.1. Dispositif expérimental

L'expérience s'est déroulée en plein champ à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach (Alger), selon le protocole appliqué généralement dans les essais de la reproduction végétale (FAO, AIEA, 1977). La culture a été conduite en bloc aléatoire complet de 165 m² pour la première année et de 90 m² pour la deuxième sur un sol de type limoneux–argileux. Le dispositif expérimental comprend quatre blocs (correspondant

chacun aux trois doses d'ionisation appliquées plus le témoin) tracés perpendiculairement à la pente et constitués de 16 micro parcelles d'un mètre carré chacune comportant 22 lignes avec 20 cm d'espace interlinéaire à la première campagne et de 13 lignes pour la deuxième. 80 graines de blé sont semées pour chaque ligne. Les parcelles ont été semées en Décembre avec une densité de semis de 82 graines, après avoir effectué au laboratoire un test de germination sur 20 graines provenant de chaque lot mises dans des boîtes de pétri contenant des portions de coton imbibées par la même quantité d'eau (figure 12). A l'instar de l'essai de **Melki et Merouani (2010)**, qui ont étudié l'effet des rayons gamma sur la germination et la croissance du blé, le comptage des graines a été effectué quotidiennement, pendant 5 jours.



Figure (12) : Test de germination (Photo originale)

La culture s'est étalée sur 7 mois, de Décembre 2013 au mois de Juin 2014 (année 1) et de Décembre 2014 à Juin 2015 (année 2).

Le schéma expérimental adopté pour les deux années de culture, est donné dans les figures (13) et (14).

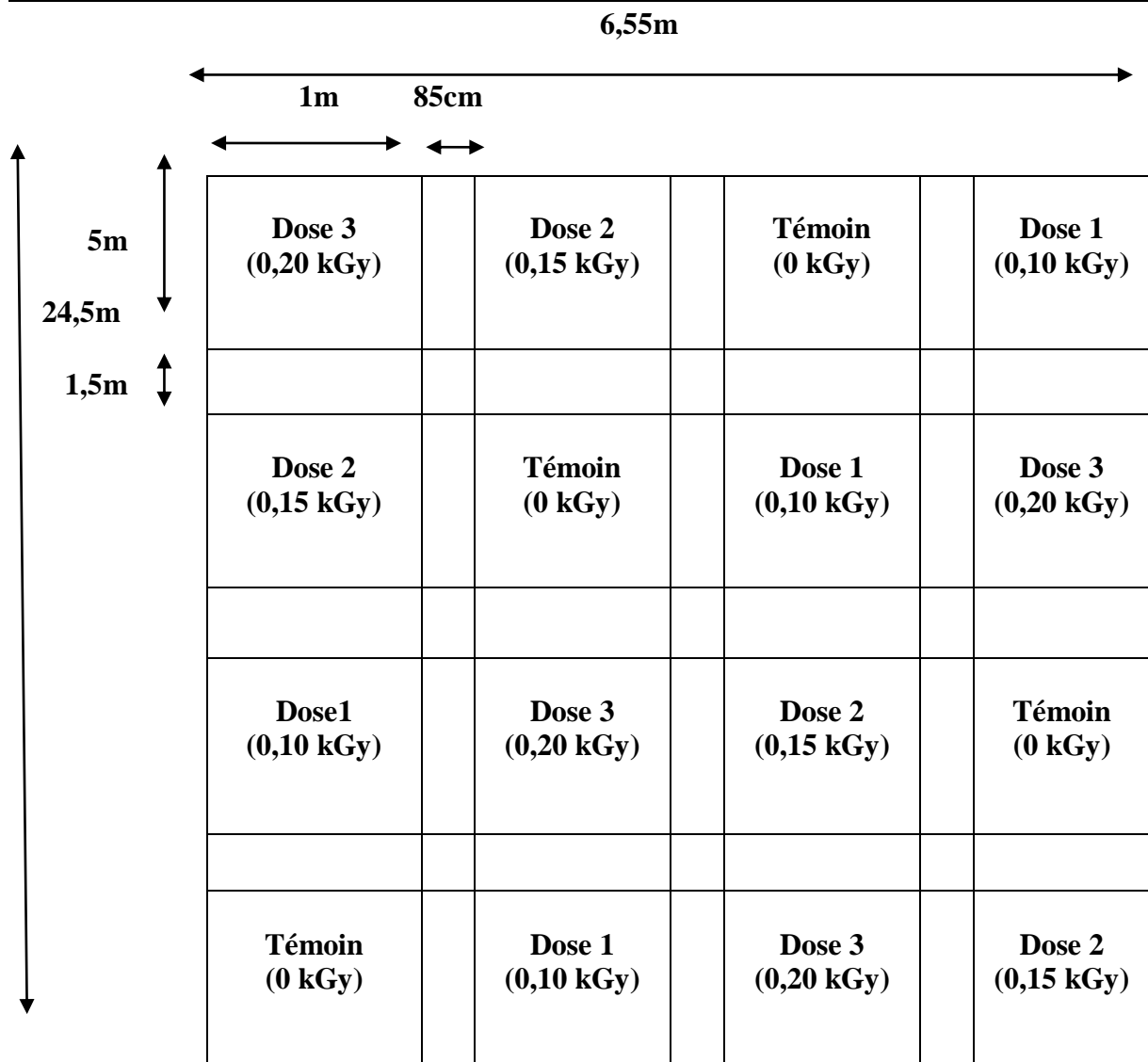


Figure (13) : Schéma cultural adopté pour la première année de culture

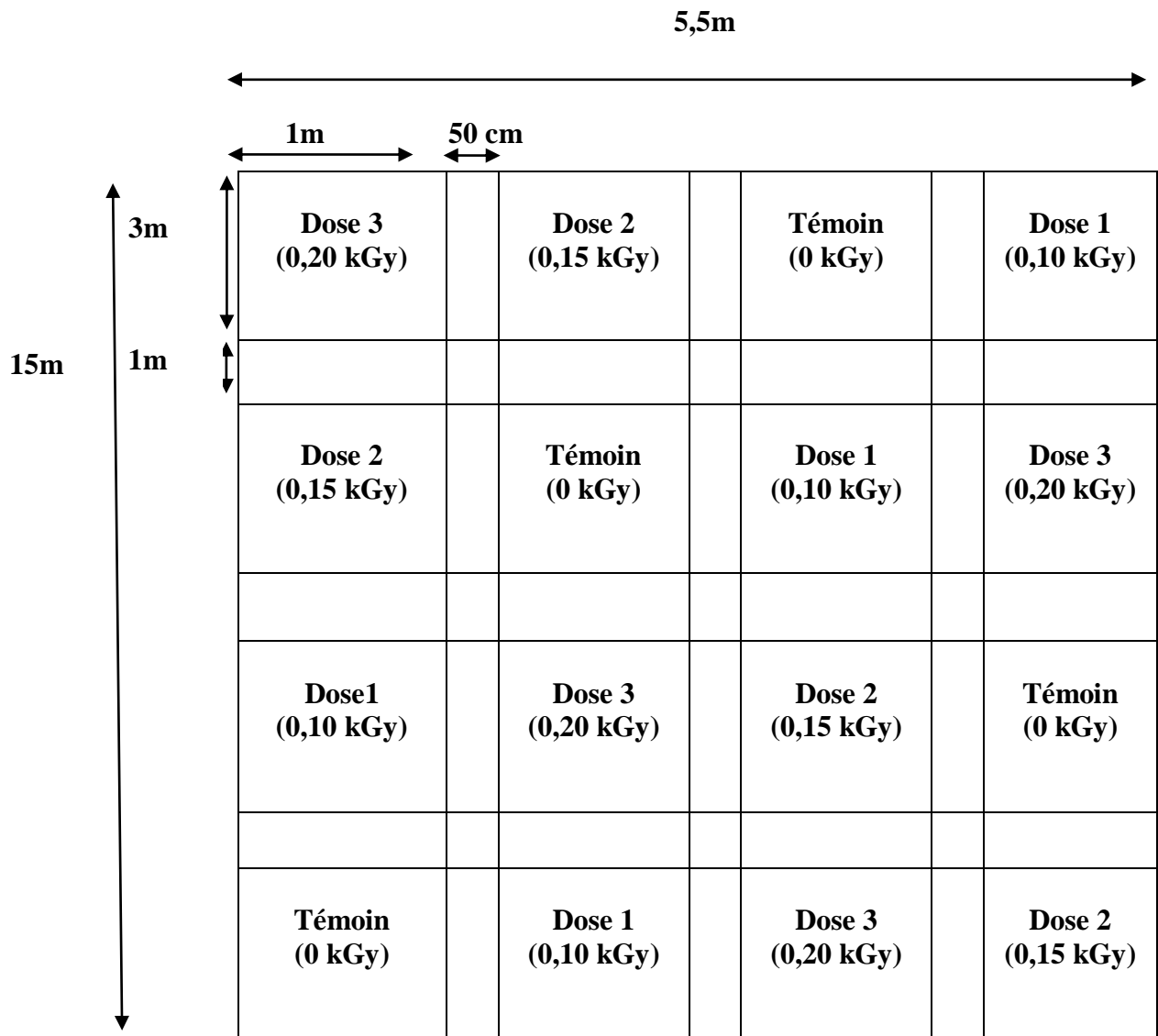


Figure (14) : Schéma cultural adopté pour la deuxième année de culture

Des traitements phytosanitaires comptant des pesticides et herbicides, ainsi que divers amendements ont été apportés avec des compléments d'irrigation. Les différentes opérations effectuées depuis la mise en place de la culture jusqu'à la récolte sont résumées dans les tableaux (7) et (8).

Tableau (7) : Techniques culturales réalisées pendant le cycle de développement du blé de la première année.

Techniques culturales	Opérations culturales	Dates
Travail du sol Façons superficielles	Charrue	17-12-2013
	Cover-crop	18-12-2013
Lit de semence	Cultivateur à dents flexibles	
Fumure de fond	N.P.K (15-15-15) Dose : 300Kg/ha	22-12-2013
Semis	Dose de semis=140 Kg/ha	22-12-2013
Roulage	Râteau : pour un meilleur contact grain-sol	22-12-2013
Fertilisation minérale	Urée 1 ^{er} apport stade 3 ^{ème} feuille Dose= 45 U/ha	16-01-2014
	Urée 2 ^{ème} apport stade plein tallage Dose= 45 U/ha	09-02-2014
Fertilisation foliaire	Agriphos stade épiaison Dose =2,5 l/ha	01-04-2014
Désherbage sélectif	Damine 600 stade début tallage Dose =1 l/ha	21-01-2014
Traitement phytosanitaire	Pychlorox 1 ^{ère} fois stade montaison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha	17-03-2014
	Pychlorox 2 ^{ème} fois stade épiaison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha	31-03-2014
	Pychlorox 3 ^{ème} fois stade floraison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha	13-05-2014

Tableau (8) : Techniques culturales réalisées pendant le cycle de développement du blé de la deuxième année

Techniques culturales	Opérations culturales	Dates
Précédent cultural	Légumineuses	/
Travail du sol	Charrue	20-11-2014
Façons superficielles	Cover-crop	29-11-2014
Fumure de fond	N.P.K (15-15-15) Dose : 300 Kg/ha	22-12-2014
Semis	Dose de semis=140 Kg/ha	23-12-2014
Roulage	Râteau : pour un meilleur contact grain-sol	23-12-2014
Fertilisation minérale	Urée 1 ^{er} apport stade 3 ^{ème} feuille Dose= 45 U/ha	28-02-2015
	Urée 2 ^{ème} apport stade plein tallage Dose= 45 U/ha	04-03-2015
Fertilisation foliaire	Agriphos stade épiaison Dose =2,5 l/ha	01-04-2015
Désherbage sélectif	Damine 600 stade début tallage Dose =1 l/ha	12-02-2015
Fertilisation foliaire		
Traitement phytosanitaire	Pychlorex 1 ^{er} fois stade montaison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha	20-03-2015
	Pychlorex 2 ^{ème} fois stade épiaison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha	08-04-2015
	Pychlorex 3 ^{ème} fois stade floraison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha	15-05-2015

Les conditions climatiques pendant les deux années de culture étaient très rapprochées avec comme exemple, pour la première campagne, une pluviométrie maximale de 79,3mm a été enregistrée en Décembre, accompagnée d'une humidité de 91,3% et d'une température moyenne de 12,7°. Le cumul pluviométrique enregistré était respectivement de 283,6mm et 294mm, durant la première et la deuxième campagne agricole. Les données météorologiques des deux campagnes sont détaillées en Annexe (1).

2.1.2. Paramètres mesurés et observations générales

La durée des principales phases du cycle de développement du blé (le levée, le tallage, l'épiaison et la maturité du grain) a été déterminée. Un stade est atteint lorsque la moitié des plantes observées à chaque bloc est à ce stade. Le suivi du cycle de développement végétatif permet de connaître la précocité en jour des différentes doses par rapport à leurs témoins. Après avoir déterminé la hauteur de la tige, la longueur de l'épi, ainsi que le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de grains par épi. Il a été procédé au calcul du poids de mille grains. Le principe du poids de 1000 grains repose sur la pesée et le comptage manuel du nombre de grains

de masse connue, qui sera ensuite rapportée à la masse de 1000 grains de l'échantillon. Enfin le rendement en grains a été déterminé en estimant la masse totale des grains récoltés reportée à l'unité de surface en hectare. Toutes les observations et les mesures ont été effectuées sur 10 plants par parcelle élémentaire et pour tous les blocs.

3. Analyses biochimiques

Une analyse de la teneur en eau, en protéines et en amidon des grains du blé, irradiées et témoins, a été effectuée.

3.1. Détermination de la teneur en eau (V03-707 ISO 712, 1989)

La teneur en eau est la perte de masse exprimée en pourcentage, subie par le produit dans les conditions décrites dans cette norme.

Le principe de sa mesure se base sur le séchage du produit à une température comprise entre 130°C et 133°C (Annexe 2), à pression atmosphérique normale à une durée allant de 01h30 mn à deux heures.

Le mode opératoire appliqué est détaillé dans l'Annexe (3).

La teneur en eau est exprimée en pourcentage en masse du produit tel quel, elle est donnée par la formule :

$$H\% = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) * 100$$

M_0 : masse en gramme de la capsule et de son couvercle vide.

M_1 : masse en gramme de la capsule et de son couvercle avec la prise d'essai avant séchage.

M_2 : masse en gramme de la capsule et de son couvercle avec la prise d'essai après séchage.

Prendre comme résultats la moyenne arithmétique des valeurs obtenues pour les deux déterminations.

3.2. Détermination de la teneur en protéines (NA 1185.1990)

La teneur en protéines est déterminée par la méthode rapide à l'infra-tec de type « FOSS ». L'Infratec est officiellement certifié et approuvé partout dans le monde comme étant la norme de détermination de la teneur en protéines, en eau, en matières grasses et en amidon. Ses résultats fiables et précis, aident à produire une qualité constante.

En mars 2002, le Laboratoire National d'Essais Français a certifié l'analyseur de grains FOSS Infratec 1241 (Annexe 2) pour la détermination officielle de la teneur en eau dans l'orge, le son, le blé et le maïs.

Le principe se base sur une substance pure éclairée dans l'infrarouge (2500 à 25000 nm) absorbera le rayonnement incident à plusieurs longueurs d'onde correspondant aux différents types de liaisons qui la composent. Des répliques de ces bandes d'absorption se retrouvent dans le proche infrarouge (700 à 2 500 nm) en étant à la fois moins nombreuses et moins intenses. Les détails sont donnés en Annexe (3).

Une substance complexe va donc présenter un spectre d'absorption qui dépendra notamment de sa composition en ses principaux éléments (protéines, lipides, glucides, eau) (Godon et Loisel, 1997).

3.3. Détermination de la teneur en amidon (ISO 712.2009)

La détermination de la teneur en amidon a été effectuée par l'emploi de l'appareil : « Infratec » qui utilise l'analyse proche infrarouge dans le mode de transmission. C'est une technique spectroscopique non destructive qui utilise le spectre électromagnétique naturel. La région du proche infrarouge est une zone du spectre définie par des longueurs d'ondes comprises entre 700 nm et 2500 nm. Le mode opératoire est expliqué en Annexe (3).

La figure (15) présente les différentes étapes de la mesure de la teneur en amidon.



Figure (15) : Différentes étapes de mesure de la teneur en amidon (Bendjabou, 2016)

4. Analyses technologiques

Les analyses technologiques sont effectuées sur la farine issue du blé (Anza) ionisé aux 3 doses de 0,10, 0,15 et 0,20KGy, avec leur témoin non ionisé. La mouture est réalisée après 48 heures de conditionnement qui a consisté en deux mouillages et un repos (pour faciliter la séparation du son et de l'amande) sur moulin « Chopin- Dubois ». Elle a consisté en une série d'opérations de broyage entre cylindres (Annexe 2), et trois fractions sont obtenues : les issues de mouture « le son », la farine de broyage et les semoules qui subissent deux convertissages pour donner de la farine.

Le blé est conditionné dans des bocaux à raison de 1,5Kg, auxquels est rajoutée la quantité d'eau distillée correspondante pour atteindre une humidité de 16%. Cette humidité va faciliter la séparation du son de l'amande. Toute addition d'eau doit être suivie immédiatement d'un brassage afin de répartir l'eau aussi parfaitement que possible entre les grains dans un maximum de temps. Les farines obtenues à un taux d'extraction de 60% ont été conservées dans des bocaux en verre à température ambiante (figure 16), et les prélèvements pour analyses ont été effectués au fur et à mesure des besoins.



Figure (16) : Farine du blé ionisé aux doses de (0,10, 0,15 et 0,20KGy) et leur témoin (photo originale)

4.1. Extraction et détermination du Gluten humide (NA.735.1991, ISO 5531)

Le gluten humide (GH) d'une farine de blé est la substance plasto-élastique composée principalement de gliadines et de gluténines. Il constitue l'armature de la pâte et lui communique ses propriétés rhéologiques. **Sassi (2008)** rapporte que le gluten humide extrait des farines de blé est une substance viscoélastique constituée principalement par la fraction insoluble des protéines (gliadines et gluténines).

Le principe se base sur la préparation d'une pâte au moyen d'une quantité de farine et d'une solution de chlorure de sodium, suivie d'un isolement du gluten humide par lavage de cette pâte avec la solution de chlorure de sodium, puis essorage et pesée du produit obtenu. Le mode opératoire étant donné dans l'Annexe (3).

Quelques étapes de l'extraction du gluten sont données dans la figure (17)



Figure (17) : Quelques étapes de l'extraction du gluten (Bendjabou, 2016)

Le gluten humide (GH) exprimé en pourcentage en masse du produit tel quel, est égal à :

$$\text{GH} = (m * 100) / 10$$

Où :

m : la masse en gramme du gluten humide.

Prendre comme résultat la moyenne des deux déterminations si les conditions de répétabilité sont remplies. La différence entre les résultats de deux déterminations effectuées simultanément ou rapidement l'une après l'autre par le même analyste utilisant le même appareillage ne doit pas dépasser 0,5%.

4.2. Détermination du Gluten sec (NA 736.1991)

Le gluten humide obtenu précédemment est placé dans une étuve pendant 5 mn à 160 ° C dans un appareil adéquat de marque « Glutork » (Annexe 2).

Le gluten sec (GS) est exprimé en pourcentage en masse du produit tel quel, est égal à :

$$\text{GS} = (m * 100) / 10$$

Où :

m : la masse en grammes du gluten sec.

4.3. Détermination du gluten index

Principe :

Le gluten obtenu est essoré et ensuite centrifugé (6000 tours /min) dans un tamis de 600 μ m, deux fractions sont alors obtenues, elles déterminent le gluten index :

$$GI (\%) = (M1 / M1+M2) * 100$$

M1 : quantité de gluten qui a traversé le tamis.

M2 : quantité de gluten retenu par le tamis.

La figure (18) montre le principe de la mesure du gluten index.

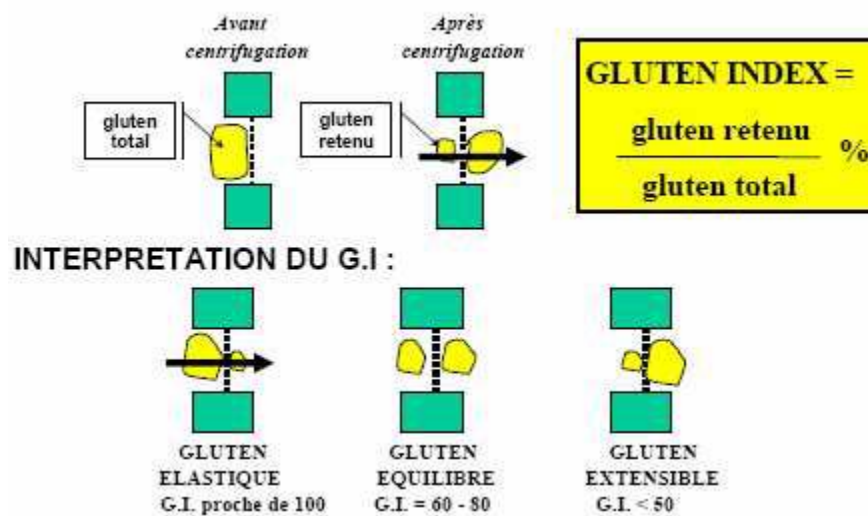


Figure (18) : Principe du gluten index : mesure de la proportion de gluten retenue sur une grille perforée après centrifugation (Sassi, 2009).

4.4. Détermination de l'Indice de sédimentation (test de Zeleny) (NA 1184.1994 ; ISO 5529)

L'indice de sédimentation donne une indication globale sur la quantité et la qualité du gluten. Ce test permet de faire une mesure rapide de la qualité de la farine, car la détermination n'exige pas d'extraction préalable, ni de dosage chimique. Le principe repose sur l'aptitude du gluten à gonfler en milieux aqueux et coaguler dans un milieu acide à l'aide d'une solution SDS-acide lactique, la valeur obtenue détermine donc la viscoélasticité du blé (Williams *et al*, 1988).

La farine est mise en suspension dans un mélange d'eau d'acide lactique et de bleu de bromophénol. On mesure la hauteur du sédiment par des temps d'agitation et de repos (Annexe 2).

On effectue une lecture directe de l'indice de sédimentation variant de 0 à 70 unités :

- 0 à 18 : Insuffisant.
- 18 à 28 : Bonne valeur (Force boulangère).
- 28 à 38 : très bonne valeur (Force boulangère).
- 38 à 70 : Blé de force ou (blé améliorant).

- Mode opératoire expliqué en Annexe (3).

Le protocole de Zéleny est détaillé dans la figure (19).

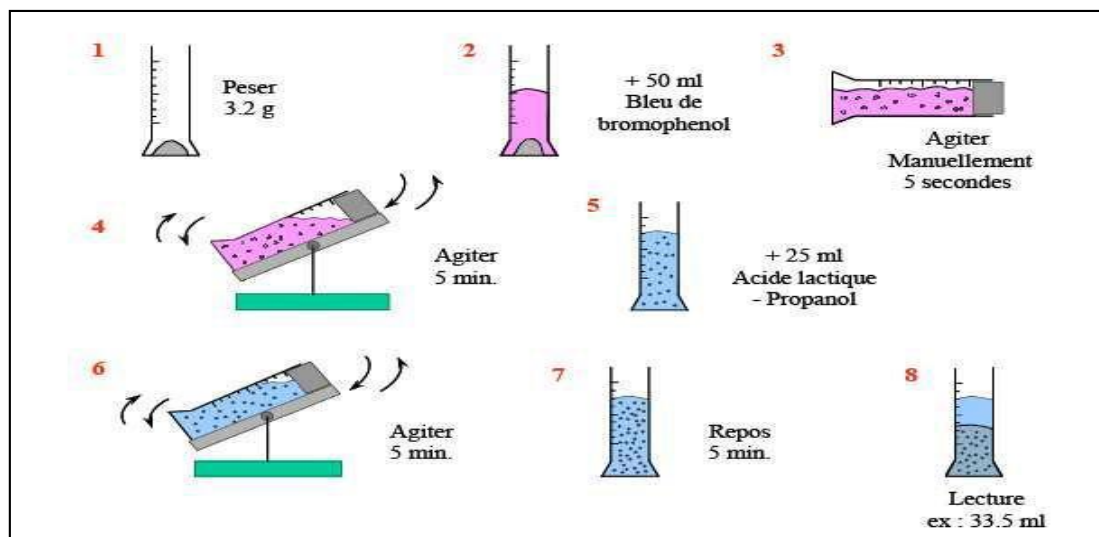


Figure (19) : Protocole de Zéleny : mesure de l'indice de sédimentation (Bendjabou, 2016)

Le volume du dépôt, exprimé en millilitre représente l'indice de sédimentation. Prendre comme résultats la moyenne arithmétique des résultats obtenus lors de l'essai.

4.5. Détermination de l'indice de chute de Hagberg (NA 1176.1994)

Ce test permet de mesurer l'activité amylolytique qui est importante lors de la fermentation. Il permet au meunier d'estimer la correction qu'il doit apporter à la farine, par ajout de malt ou d'amylases fongiques ou en faisant des coupages dans le cas des blés hyper diastasiques. Cette méthode est applicable aux céréales en grains et notamment au blé et au seigle et à leurs produits de mouture.

Le principe de cette méthode qui mesure indirectement l'activité des amylases de la farine, consiste à mesurer la consistance d'une suspension de farine dans l'eau placée dans un tube viscosimétrique et plongée dans un bain-marie porté à ébullition, il s'ensuit une gélatinisation de l'amidon sous l'action de la température (figures 20 et 21). La consistance est appréciée en mesurant le temps (en secondes) mis par un plongeur de géométrie parfaitement définie pour s'enfoncer d'une distance fixée à l'avance au sein de la suspension de farine (figure 22). Plus de détails sont donné en Annexe (2).

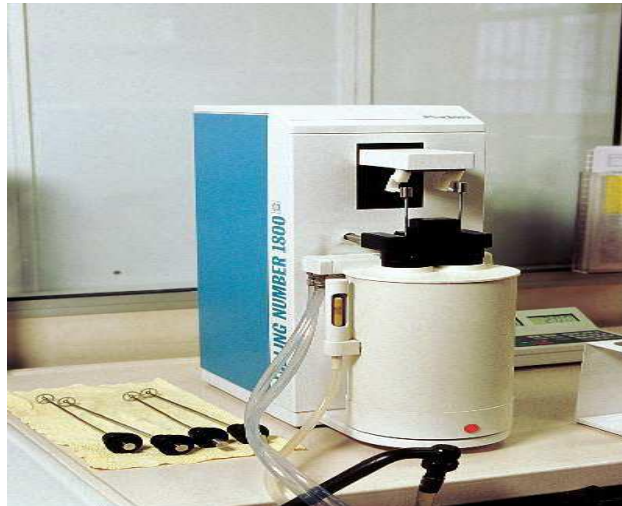


Figure (20) : Appareil de Hagberg (Paillard *et al*, 2002)

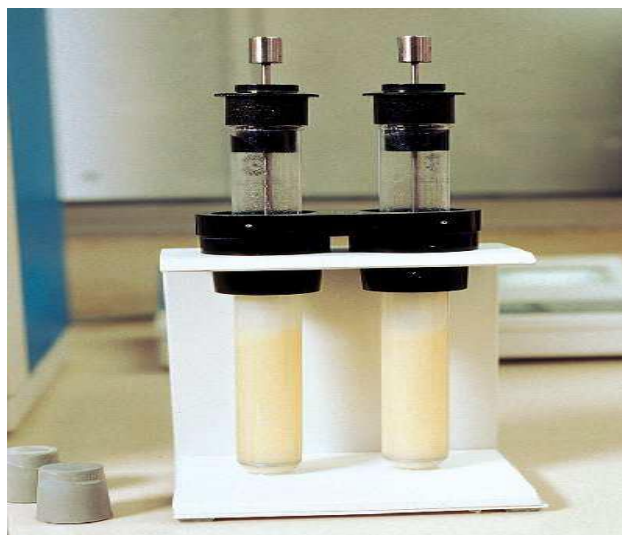


Figure (21) : Tubes de gélatinisation (Paillard *et al*, 2002)

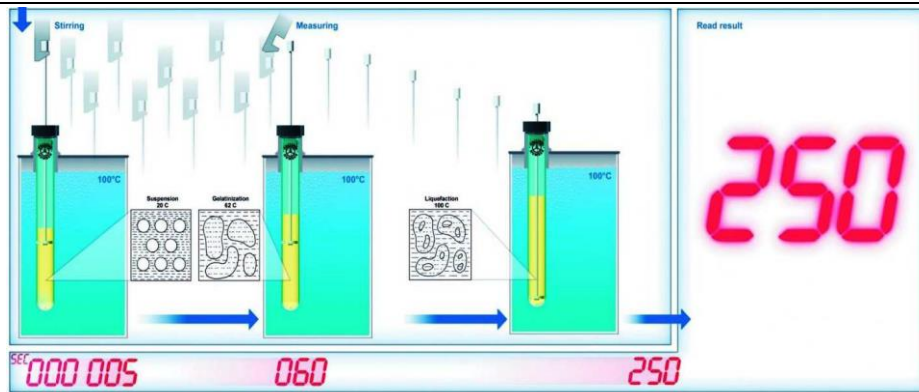


Figure (22) : Principe de mesure de l'indice de chute de Hagberg (<http://www.perten.com/>).
Ps : 5, 60 et 250 secondes, correspondent au temps que prends le plongeur pour s'enfoncer dans la suspension de la farine.

4.6. Test d'Alvéographe de Chopin (Norme ISO 5530/4)

Ce test permet de déterminer, au moyen d'un « Alvéographe », certaines caractéristiques rhéologiques des pâtes, obtenues à partir de farine de blé tendre et constituant un facteur important de leur valeur d'utilisation (valeur boulangère, biscottière, biscuitière). Il permet donc de prédire l'aptitude d'un blé ou d'une farine à être utilisée dans la fabrication des produits de cuisson.

L'alvéographe Chopin étudie le comportement d'un échantillon de pâte, formé à partir d'une farine et d'eau salée lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant. Dans un premier temps, le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme de bulle plus ou moins volumineuse selon son extensibilité et éclate (figure 23).

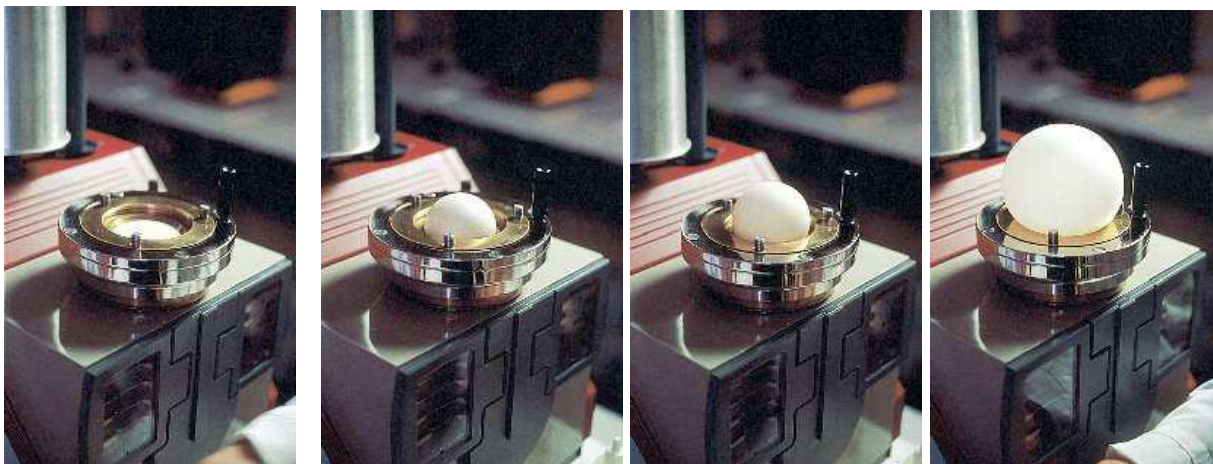


Figure (23) : Etapes de développement de la pâte pendant la mesure à l'alvéographe (Paillard et al, 2002).

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe, appelée alvéogramme (figure 24).

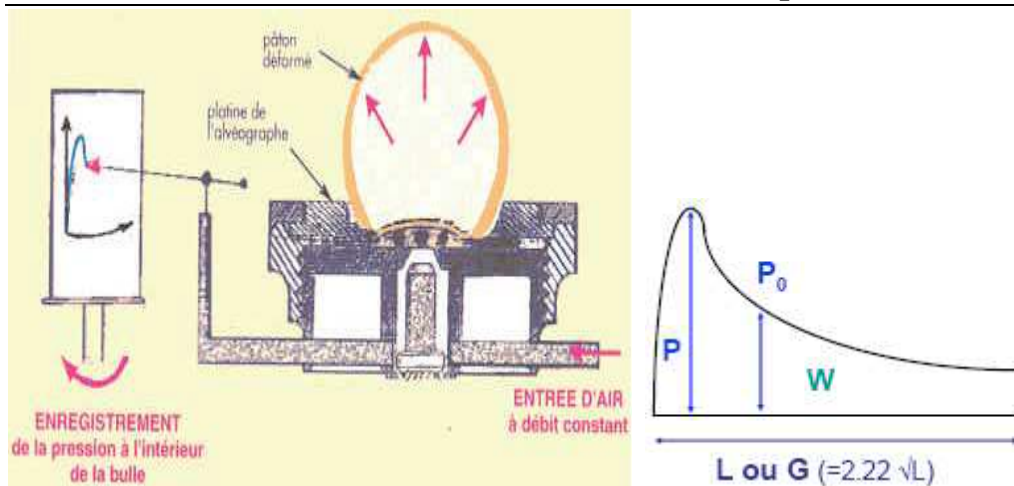


Figure (24) : Enregistrement des paramètres alvéographiques (ITCF et ONIC, 1995).

L'alvéogramme est caractérisé par quatre principaux paramètres : P, G, L, W et le rapport P/L. La hauteur P correspond à la pression maximale, exprimée en millimètres, enregistrée avant que le disque ne commence à gonfler. P est en relation avec la ténacité de la pâte. La longueur L, mesurée en millimètres, correspond au gonflement maximum de la bulle de pâte, elle est en rapport avec l'extensibilité de la pâte et le gonflement G qui se traduit d'ailleurs par le calcul à partir de $L : G = 2,22 * \sqrt{L}$.

Le rapport P/L donne une indication de l'équilibre entre ténacité et extensibilité de la pâte.

La surface de l'alvéogramme W représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine (force boulangère). W s'exprime en 10^{-4} Joule rapporté à un gramme de pâte (tableau 9).

Le mode opératoire adopté est donné dans l'Annexe (3).

Tableau (9) : Utilisations potentielles des blés selon leur force boulangère

Force (W)	Rapport (P/L)	Utilisations
<150	0,3-0,5	Biscuiterie
160-250	0,5-0,7	Panification
250-300	0,5-0,9	Croissant-brioche
350	0,7-1	Pain de mie ou Hamburger

(ITCF & ONIC, 1995).

5. Analyse statistique

Les résultats expérimentaux de l'étude ont été exprimés en moyenne \pm l'écart type de trois mesures parallèles. Les comparaisons multiples et la détermination des niveaux de signification ont été déterminés par le test ANOVA à trois facteurs (dose, paramètre, culture) pour les

analyses biochimiques et technologiques, suivi du LSD à $p < 0,05$ (comparaison planifiée) à l'aide de STATISTICA.9 et la valeur $p < 0,05$ a été considérée comme significative. L'année de récolte et la dose d'ionisation ont été considérées comme des facteurs fixes. Le test NEWMAN-KEULS à $p < 0,05$, a été appliqué pour classer les traitements significativement différents et l'analyse factorielle en ce qui concerne le suivi physiologique du blé cultivé sur deux années. Les corrélations entre les différents paramètres mesurés ont été déterminées.

Partie II : Etude expérimentale
Chapitre II. Résultats et discussion

Partie II. Etude expérimentale**Chapitre II. Résultats et discussion****1. Résultats de l'étude des paramètres physiologiques****1.1. Caractères phénologiques**

La culture sur deux années consécutives de la variété de blé tendre (Anza), comportant des échantillons ionisés et d'autres témoin non ionisés, a été appuyée par un suivi régulier des différents stades de croissance.

La connaissance des différents stades du développement du matériel végétal semé, constitue la première étape à maîtriser pour comprendre son évolution physiologique et son rendement.

De plus, les dates correspondant aux différents stades phénologiques de la variété (Anza) sont rassemblées dans le tableau (10) ainsi que le tableau (11) qui représente la durée moyenne des phases de développement.

Tableau (10) : Dates moyennes des principales phases du cycle de développement sur deux années, des blés ionisés à différentes doses

Année 1					
Dose (KGy)	Semis	Levée	Plein tallage	Epiaison	Maturité
0	22/12/2013	31/12/2013	09/02/2014	25/03/2014	18/05/2014
0,10	22/12/2013	31/12/2013	09/02/2014	25/03/2014	18/05/2014
0,15	22/12/2013	02/01/2014	10/02/2014	26/03/2014	19/05/2014
0,20	22/12/2013	02/01/2014	12/02/2014	28/03/2014	21/05/2014
Année 2					
Dose (KGy)	Semis	Levée	Plein tallage	Epiaison	Maturité
0	23/12/2014	09/01/2015	01/03/2015	01/04/2015	18/05/2015
0,10	23/12/2014	10/01/2015	04/03/2015	01/04/2015	19/05/2015
0,15	23/12/2014	13/01/2015	05/03/2015	03/04/2015	19/05/2015
0,20	23/12/2014	13/01/2015	05/03/2015	03/04/2015	20/05/2015

Tableau (11) : Durée moyenne (en jours) des principales phases du cycle du développement à partir de la date du semis des blés ionisés à différentes doses

Année 1				
Dose (KGy)	Semis-Levée	Semis-Plein tallage	Semis-Epiaison	Semis-Maturité
0	9	49	93	147
0,10	9	49	93	147
0,15	11	50	94	148
0,20	11	52	96	150

Année 2				
Dose (KGy)	Semis-Levée	Semis-Plein tallage	Semis-Epiaison	Semis-Maturité
0	18	39	97	145
0,10	19	43	97	146
0,15	22	44	99	146
0,20	22	45	99	147

La figure (25) comporte des photos représentant l'aspect des plants du blé (Anza) à ses différents stades à la première année de culture.



[1]



[2]



[3]



[4]

Figure (25) : Parcelle du blé tendre Anza de la première année, ionisé à différentes doses aux stades : **1** (levée), **2** (plein tallage), **3** (épiaison), **4** (maturation).

Quant aux parcelles cultivées au cours de la deuxième année de culture, elles ont donné aux différents stades, les plants de blé illustrés dans la figure (26).



[1]



[2]



[3]



[4]

Figure (26) : Parcelle du blé tendre Anza de la deuxième année, ionisé à différentes doses aux stades : **1** (début tallage), **2** (plein tallage), **3** (épiaison), **4** (maturation).

1.2. Discussion

L'observation et le suivi des stades du développement de la variété (Anza) sur deux années de culture s'est effectuée suivant les critères de notation mentionnés dans le tableau (12) et rapportés par **Boulal et al (2007)**. En effet, ces auteurs ont défini les critères de notation du développement des céréales et par conséquent du blé, à partir desquels le stade atteint son terme.

Tableau (12) : Critères de notation des principaux stades de développement des céréales.

Stade de développement	Critères de notation des dates d'apparition des stades
Levée	90% des plantes ont leur première feuille émergée du sol
Début tallage	50% des plantes ont leur première talle visible à l'aisselle de la première feuille
Début montaison	Apparition du premier nœud sur 50% des plantes
Gonflement	50% des gaines de la dernière feuille sont en état de gonflement
Début épisaison	50% des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille
Début floraison	50% des épis présentent des étamines sur plus de la moitié des épillets
Grain laiteux	50% des épis présentent des grains qui en s'écrasant laisse apparaître un liquide blanchâtre. Etat laiteux
Grain pâteux	50% des épis présentent des grains à l'état pâteux
Maturité physiologique	90% des épis ont des grains durs qui se cassent difficilement entre les dents

Boulal *et al* (2007)

Boufenar-Zaghouane & Zaghouane (2006), dans leur guide des différentes céréales cultivées en Algérie, ont classé la variété de blé tendre (Anza), sujet de notre étude, parmi les variétés précoces. Ceci est effectivement vérifié, puisque selon les résultats obtenus, cette variété a pris la première année, 147 jours (les échantillons témoin) pour arriver à la maturité, et 145 jours la deuxième année. Ce cycle de développement est respectivement de 147 et 145 jours, ce qui la classe parmi les variétés précoces. De plus, une précocité à la levée dans les deux années de culture, a été constatée pour les échantillons non ionisés et ceux ionisés à 0,10 kGy, avec de 2 à 3 jours de plus pour les autres ionisés à 0,15 kGy et 0,20 kGy. Ce constat a été fait pour toutes les phases du cycle de développement. Ceci dit, on pourra conclure que la durée du cycle s'allonge avec l'élévation de la dose d'ionisation. Ceci est dû à l'effet des rayons gamma sur la germination, la vigueur des racines et des tiges et la synthèse des hormones de croissance. Ces résultats sont en parfait accord avec ceux de **Din *et al* (2003)** qui ont effectué un suivi du cycle végétatif de variétés de blé tendre ionisées à faibles doses. Ces auteurs ont remarqué que chez tous les génotypes de blé, le nombre de jours nécessaires à l'initiation de l'épisaison a augmenté de manière significative avec les doses de 0,25, 0,35 et 0,45 KGy, à l'exception de la dose de 0,15 KGy avec laquelle une légère diminution de temps a été obtenue, ce qui a légèrement

amélioré l'épiaison. Avec l'augmentation des niveaux de doses, un retard dans le nombre de jours nécessaires à l'épiaison a été observé. Nombreuses sont les études qui ont traité de l'effet des rayons gamma à faibles doses sur la croissance du blé, à travers lesquelles on a confirmé que l'ionisation exerce un effet prononcé sur le blé à ses différents stades de croissance. Bien qu'aucune explication concluante des effets de stimulation du rayonnement gamma à faible dose, n'ait été disponible jusqu'à présent, des recherches soutiennent l'hypothèse selon laquelle l'ionisation à faible dose induit une stimulation de la croissance en modifiant la signalisation hormonale dans les cellules végétales ou en augmentant la capacité antioxydante des cellules pour surmonter facilement les facteurs de stress quotidiens tels que la fluctuation de l'intensité lumineuse et de la température dans les conditions de croissance (Wi *et al*, 2007; Kim *et al*, 2009). En revanche, l'inhibition de la croissance induite par une ionisation à forte dose a été attribuée à l'arrêt du cycle cellulaire pendant la division des cellules somatiques et ou à des dommages variables sur l'ensemble du génome (Preuss & Britt, 2003).

D'après Jan *et al*, (2012), la croissance et le développement des plantes cultivées ne se font pas à un rythme constant ou fixe dans le temps. Le développement des plantes est un terme qui comprend un large éventail de processus par lesquels les structures végétales naissent et mûrissent au fur et à mesure de la croissance. Tout changement dans le modèle de croissance affectera finalement la maturité et le rendement.

1.3. Germination

La figure (27) montre que la germination atteint les 100% (les 20 grains ont tous germé) au troisième jour pour l'échantillon témoin, et à partir du quatrième jour pour les autres échantillons irradiés, ainsi les doses d'ionisation appliquées n'ont pas influé sur le nombre de grains germés pour les deux années de culture, puisqu'il y a pas eu d'inhibition de la levée des graines. Néanmoins, l'analyse de la variance a montré une différence significative entre les échantillons ionisés et le témoin ($p < 0,05$) pour le deuxième jour de germination, en effet, le nombre de grains germés a légèrement diminué aux doses de 0,10 et 0, 20K Gy (année 1) et à 0,15 K Gy (année 2). Ce qui laisse dire que l'ionisation pourrait retarder la levée. Un retard dû selon Melki & Dahmani (2009) à l'implication des rayons gamma dans la dénaturation de certaines enzymes actives au cours de la germination.

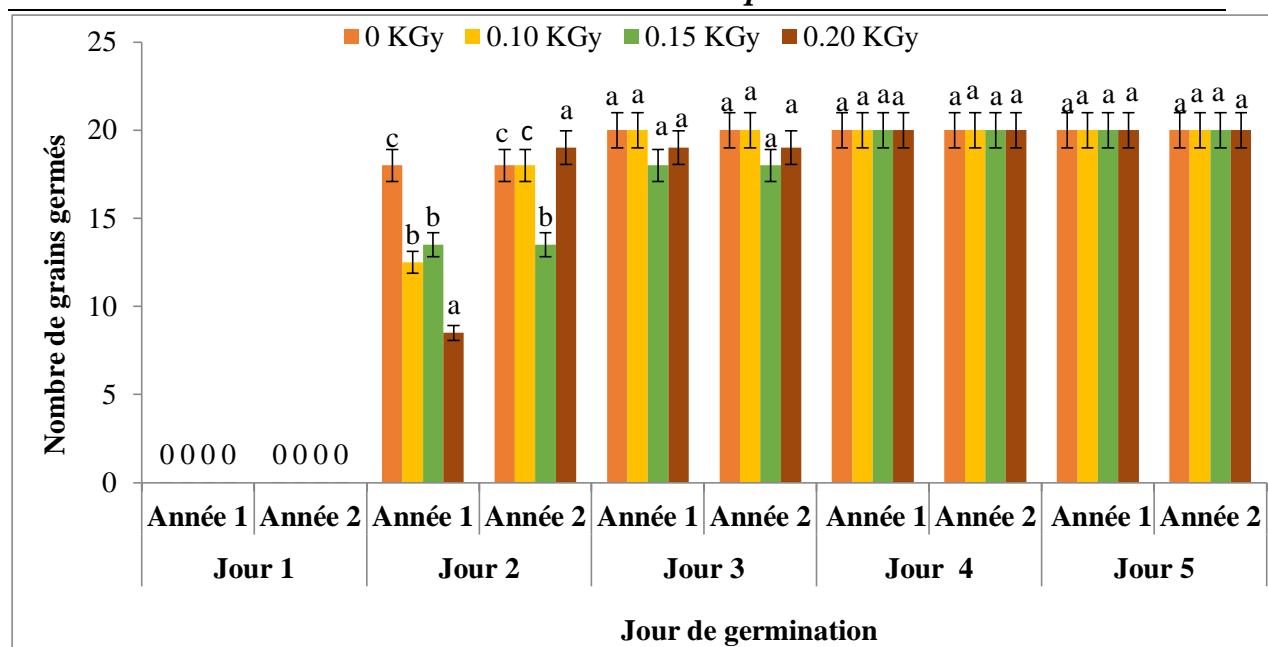


Figure (27) : Evolution du nombre de grains germés en fonction des doses d'ionisation durant les cinq jours de germination

1.4. Caractères morphologiques

Les valeurs moyennes des paramètres morphologiques du blé (Anza) cultivé sur les deux années consécutives, sont représentées dans le tableau (13) et l'analyse de la variance des différents aspects morphologiques et agronomiques est indiquée dans les tableaux (14) et (15). Les données ont révélé des différences significatives ($p < 0,05$) de la hauteur de la tige dans la première année de culture et non significatives pour la seconde ($p > 0,05$). Durant la première année, les tiges du témoin et des échantillons traités à 0,10 KGy ont été caractérisées par les hauteurs les plus importantes. A la deuxième année, une amélioration de la taille des plants pour l'échantillon traité à 0,20 kGy (77,25 cm) a été remarquée. Sur la longueur moyenne de l'épi, celle-ci n'a pas varié significativement parallèlement à la dose appliquée ($p > 0,05$) pour les deux années. Le témoin et les échantillons irradiés à 0,20 KGy ont donné pour la première année la meilleure longueur (8,97 cm). La différence entre les résultats pour les valeurs du nombre de pieds levés/m² est significative ($p < 0,05$) pour les deux campagnes. Le plus élevé a été observé respectivement à 0,10 KGy (388) et à 0,20 KGy (149) à la première et à la deuxième année. Ce grand écart entre les valeurs des deux campagnes est dû à l'effet de l'ionisation gamma. Une interaction significative ($p < 0,0001$) entre l'année de culture et les doses d'ionisation a été notée (tableau 14).

Tableau (13) : Valeurs moyennes des paramètres morphologiques et agronomiques et des composantes de rendement en fonction des doses d'ionisation

Année1				
Doses (KGy)	0	0,10	0,15	0,20
HT (cm)	75,56 ± 0,24 ^b	73,05 ± 0,34 ^b	72,4 ± 0,1 ^b	67,08 ± 0,3 ^a
LE (cm)	8,97 ± 0,18 ^a	8,71 ± 0,18 ^a	8,83 ± 0,20 ^a	8,97 ± 0,15 ^a
NPL/m ²	340 ± 0,7 ^b	388 ± 0,7 ^d	361 ± 1,4 ^c	301 ± 1,4 ^a
NE/m ²	535±0,3 ^b	565±0,26 ^c	476±0,22 ^a	599±0,22 ^d
NG/épi	45±0,2 ^a	40±0,2 ^a	42±0,2 ^a	35±0,2 ^a
PMG (g)	22,5±1,1 ^a	21,2±1,1 ^a	23,3±1,4 ^a	24,7±1,5 ^a
RG (q/ha)	56,3±0,1 ^b	47,3±0,3 ^a	46,2±0,4 ^a	56,2±0,5 ^b
Année2				
Doses (KGy)	0	0,10	0,15	0,20
HT (cm)	79,08 ± 0,26 ^a	78,52 ± 0,36 ^a	77,08 ± 0,27 ^a	77,25 ± 0,34 ^a
LE (cm)	8,94 ± 0,18 ^a	8,82 ± 0,16 ^a	8,04 ± 0,18 ^a	8,06 ± 0,13 ^a
NPL/m ²	148 ± 0,7 ^b	133 ± 1,4 ^a	134 ± 1,4 ^a	149 ± 1,4 ^b
NE/m ²	596 ± 0,4 ^c	536 ± 0,23 ^b	532 ± 0,25 ^a	598 ± 0,2 ^c
NG/épi	44 ± 0,2 ^a	40 ± 0,2 ^a	39 ± 0,2 ^a	42 ± 0,2 ^a
PMG (g)	23,3 ± 1,0 ^a	24,7±1,1 ^a	22,3±1,4 ^a	24,7±1,5 ^a
RG (q/ha)	53,7±0,1 ^b	44,5±0,5 ^a	42,1±0,5 ^a	55,0±0,9 ^b

HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NE : nombre d'épis, NG : nombre de grains, PMG : masse de 1000 grains, RG : rendement en grains

^{abc} Les mêmes lettres dans les lignes ne sont pas significativement différentes à $P < 0,05$

Tableau (14) : Résultats de l'analyse de la variance de l'effet de la dose d'ionisation, de l'année de culture et de l'interaction entre l'année de culture et les doses de rayonnement

Paramètre	Dose d'ionisation	Année de culture	Année de culture * Dose d'ionisation
NGG (Jour 2)	**	NS	NS
NGG (Jour 3)	NS	NS	NS
HT	*	**	NS
LE	NS	NS	NS
NPL/m²	***	***	***
NE/m²	***	***	***
NG/épi	NS	NS	NS
PMG	NS	NS	NS
RG	**	NS	NS

*NGG : nombre de grains germés, HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NE : nombre d'épis, NG : nombre de grains, PMG : poids de 1000 grains, RG : rendement en grains / *, **, *** Significatif aux niveaux de probabilité de 0,05, 0,001 et 0,0001 respectivement, NS : non significatif ($p > 0,05$)*

1.5. Caractères agronomiques et composantes de rendement

L'Anova a montré un effet significatif de la dose d'ionisation sur le peuplement d'épis par m² ($p < 0,05$). Le tableau (13) montre que le nombre d'épis/m² est plus élevé à la dose de 0,20 KGy pendant les deux campagnes. Une interaction significative année de culture et dose d'ionisation à $p < 0,0001$ est observée (tableau 14). Le nombre de grains par épi le plus important est obtenu avec les échantillons témoins avec des différences non significatives ($p > 0,05$). Des valeurs élevées (24,7g) du poids de 1000 grains sont notées à 0,20 KGy, ainsi qu'à la dose de 0,10KGy et les variations ne sont pas significatives ($p > 0,05$). Le rendement en grains a marqué une variation hautement significative ($p < 0,001$) avec les doses d'ionisation. Les deux récoltes ont également donné le meilleur rendement (56 et 55q/ha) à la dose de 0,20 KGy.

L'analyse globale de la variance de l'effet de la dose, de l'année et de l'interaction année et dose des différents paramètres physiologiques étudiés, sont donnés dans le tableau 15.

Tableau (15) : Résultats de l'analyse globale de la variance de l'effet de la dose, de l'année et de l'interaction année et dose

Caractères morphologiques					
NGG (Jour 2)					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	2730,063	1	2730,063	1323,667	0,000000
Année	0,062	1	0,030	0,030	0,866129
Dose d'ionisation	184,188	3	29,768	29,768	0,000109
Année*Dose d'ionisation	0,187	3	0,030	0,030	0,992341
NGG (Jour3)					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	6006,250	1	6006,250	28,26	0,000000
Année	0,000	1	0,000	0,000	1,000000
Dose d'ionisation	6,250		2,083	0,980	0,448866
Année*Dose d'ionisation	4,500	3	1,500	0,706	0,574878
HT					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	899998,50	1	899998,50	21039,52	0,000000
Année	142,50	1	142,50	33,31	0,000418
Dose d'ionisation	56,51	3	18,84	4,40	0,041570
Année*Dose d'ionisation	25,51	3	8,49	1,98	0,194996
LE					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	1200,103	1	2200,103	4002,928	0,000000
Année	0,668	1	0,668	2,229	0,173780
Dose d'ionisation	0,606	3	0,202	0,674	0,591938
Année*Dose d'ionisation	0,797	3	0,266	0,887	0,488189
NPL/m²					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	953552,3	1	953552,3	146700,3	0,000000
Année	170156,2	1	170156,2	26177,9	0,000000
Dose d'ionisation	2658,8	3	886,3	136,3	0,000000
Année*Dose d'ionisation	6062,8	3	2020,9	310,9	0,000000
Caractères agronomiques					
NE/m²					

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre II. Résultats et discussion

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	4921742	1	4921742	193009,5	0,000000
Année	1892	1	1892	74,2	0,000026
Dose d'ionisation	18493	3	6164	241,7	0,000000
Année*Dose d'ionisation	5807	3	1936	75,9	0,000003

NG/épi

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	26732,25	1	26732,25	534,6450	0,000000
Année	2,25	1	2,25	0,0450	0,837309
Dose d'ionisation	78,75	3	26,25	0,5250	0,677240
Année*Dose d'ionisation	56,75	3	18,92	0,3783	0,771348

PMG

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	8934,030	1	8934,030	117,875	0,000000
Année	0,102	1	0,102	0,036	0,912666
Dose d'ionisation	28,361	3	9,454	1,183	0,375563
Année*Dose d'ionisation	20,650	3	6,883	0,883	0,499433

RG

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	40268,45	1	40268,45	4063,559	0,000000
Année	27,77	1	27,77	2,803	0,132645
Dose d'ionisation	428,05	3	142,68	24,398	0,001372
Année*Dose d'ionisation	4,18	3	1,39	0,141	0,932763

*HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NE : nombre d'épis, NG : nombre de grains, PMG : poids de 1000 grains, RG : rendement en grains / SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité / * p pour p < 0,05, ** p pour p < 0,001, *** p pour p < 0,0001. NS : non significatif (p > 0,05).*

1.6. Discussion

Les résultats obtenus de cette étude, montrent que les doses appliquées (0,10, 0,15 et 0,20 KGy) sur la variété (Anza) ne sont pas assez élevées pour inhiber la germination. Ainsi, la dose maximale de 0,20KGy appliquée sur le blé pour éliminer les insectes ravageurs et une grande partie de la microflore n'a pas eu d'effet sur le taux de germination, mais plutôt sur le temps requis pour obtenir la germination totale. Cette constatation est en accord avec celle de **Melki & Marouani (2010)**, qui notent que les grains d'une variété de blé dur ionisé à des doses de rayons gamma de 10, 20 et 30 Gy, gardent leur pouvoir germinatif intact. Ils indiquent par ailleurs que les résultats obtenus par plusieurs auteurs montrent que la dose de 1,5 kGy est la limite maximale à ne pas dépasser afin de ne pas inhiber le pouvoir germinatif. Ceci coïncide avec les résultats de **Daskalova & Spetsov (2017)** qui n'ont remarqué aucune différence significative entre les échantillons de blé irradiés à une dose de rayons gamma de 1,5 KGy et leurs témoins respectifs. Ils ont conclu ainsi que cette dose n'a pas affecté la germination. De même, **Jan et al (2012)** notent les mêmes effets une fois que les semences étaient soumises à de faibles doses d'ionisation. Les résultats de **Chaudhry (1983)** qui a traité six variétés de blé à des doses de 1 à 1,4 KGy, ont montré que les faibles doses pouvaient améliorer la germination. Cependant, **Czyczyla Mysza et al (2013)** n'ont constaté aucun effet significatif sur la germination de graines de blé irradiés à une dose de 0,30 KGy. A l'opposé, **Abouzeid & Abdelatif (2014)** ont remarqué une baisse du taux de germination de graines de blé tendre ionisées à 1 KGy, et que cette diminution de la germination à certaines doses, notamment aux fortes doses gamma, pourrait être liée à la synthèse de certains composants qui font diminuer la multiplication du matériel génétique et la division cellulaire. Dans une autre étude, **Khan et al (2003)** ont observé une baisse de la germination avec l'augmentation de l'intensité des rayons gamma sur trois variétés de blé tendre, ionisées à 0,10, 0,20, 0,30 et 0,35 KGy, la baisse la plus perceptible est celle effectuée à 0,30KGy. D'autre part, **Kubba (2015)** révèle que la germination d'échantillons de blé ionisé à des doses élevées est retardée lorsque la durée de stockage est prolongée. De plus, **Borzouei et al (2012)** apportent qu'au-delà de 2 KGy, aucune germination n'est observée.

El Hassani & Persoons (1995) rapportent qu'après le semis, la germination commence par l'absorption de l'eau (imbibition), puis débute une série d'étapes. L'embryon envoie des signaux hormonaux qui induisent une série d'hydrolases (lipases, protéases, amylases) dans l'aleurone. Les réserves situées dans l'endosperme sont déplacées vers l'embryon. Ces

systèmes enzymatiques associés à d'autres (phosphorylases, lipoxygénases,...) commencent à dégrader les réserves du grain (amidon, lipides, protéines) se trouvant dans l'endosperme. Les sucres et les peptides simples sont absorbés par le scutellum et sont utilisés par l'embryon avant que les premières feuilles n'apparaissent et que la photosynthèse ne commence. Selon **Achouri (1996)**, l'indice de germination est très sensible aux doses élevées d'ionisation. Il peut atteindre un taux de germination de 11,5% lorsque la dose de 10K Gy est appliquée. Il semblerait selon cet auteur que les doses inférieures à 2K Gy n'ont pratiquement pas d'effet sur l'indice de germination.

Les résultats obtenus ont révélé une légère diminution à certaines doses et une amélioration à d'autres dans les valeurs des hauteurs de la tige et de la longueur des épis. Dans l'étude de **khah & Verma (2015)**, la hauteur moyenne des tiges a enregistré une diminution chez des graines traitées à la dose de 3 K Gy. Les mêmes résultats sont rapportés par **Ahmed et al (2017)** qui ont appliqué des doses plus fortes allant jusqu'à 4,5 K Gy sur des variétés de blé tendre. Une étude menée par **Kubba (2015)** dans le but de sélectionner une variété de blé tendre semi naine améliorée génétiquement par des mutations induites par des rayons gamma à des doses de 50Gy, et de 0,10 et 0,15 K Gy a donné des résultats intéressants tant sur le plan végétatif que granulométrique. Les analyses moléculaires réalisées dans cette étude ont montré que le nouveau descendant « Uruq » obtenu à partir de la variété mère « Inia 66 », possède le gène nain « Rht-D1b » responsable du semi-nanisme. Cette nouvelle variété obtenue présentait de nombreux caractères quantitatifs et qualitatifs qui surpassent son parent, notamment par la réduction de 25 cm de sa hauteur de la tige, ce qui lui confère un caractère de résistance à la verse ainsi qu'une couleur ambrée des graines, souhaitable localement, au lieu de la couleur rouge qui caractérise les graines de la variété mère. **Abouzeid et Abdelatif (2014)** dans leur étude sur du blé tendre ionisé, ont rapporté que la dose de 1 K Gy améliorait les paramètres de croissance, notamment la longueur de l'épi, d'autre part, ils soulignent que la réduction significative des paramètres de croissance mesurés sur les plants de blé sous des doses plus élevées, pourrait être liée à l'effet délétère des fortes doses des rayons gamma sur la structure cellulaire et les diverses réactions biochimiques qui s'installent suite au traitement.

Un effet stimulant des rayons gamma sur le nombre de pieds levés a été constaté dans notre cas. Ces résultats vont dans le même sens que ceux rapportés par **Irfak & Nawab (2001)** avec les doses de rayons gamma appliquées (0,10, 0,20, 0,30 et 0, 40K Gy) sur trois variétés de blé tendre, à l'exception de la dose de 0,10 K Gy où une diminution du nombre de pieds levés a été révélée. Des résultats similaires ont été apportés également par d'autres auteurs, dont

Daskalova & Spetsov (2017), sur des variétés de blé tendre ionisées à la dose de 1,5KGy. D'autres recherches telle que celles menées par **Khan et al (2003)** ont abouti à des résultats opposés et soulignent un effet négatif du rayonnement gamma sur le nombre de pieds levés. **Kovacs & Keresztes (2002)**, rapportent que l'effet biologique des rayons gamma est basé sur l'interaction avec les atomes et les molécules de la cellule, en particulier l'eau, ce qui produit des radicaux libres. Ces radicaux provoquent une lyse au niveau de la molécule d'ADN, il s'ensuit une rupture d'une ou deux de ses chaînes (**Jyoti et al, 2009**). D'après **Boulal et al (2007)**, la faculté germinative des semences, la date de semis, le type de sol, la profondeur du semis ainsi que les conditions climatiques influent sur le nombre de plants par mètre carré à la levée. Si le semis est profond, la levée est retardée et les plantes qui atteignent la surface seront chétives, ce qui entrainera des pertes donnant par conséquent des faibles rendements.

L'effet de l'ionisation gamma sur la stimulation de la croissance, en particulier à faibles doses a été signalé dans plusieurs études. **Khah et Verma (2015)**, dans leur étude réalisée sur du blé tendre ionisé aux rayons gamma à des doses de 0,5, 1, 1,5, 2 et 3 KGy ont constaté une diminution constante du nombre d'épis par mètre carré avec l'élévation des doses appliquées, exception faite à la dose de 0,5KGy. **Irfak & Nawab (2001)** et **Khan et al (2005)** ont eux aussi remarqué une réduction du nombre de grains par épi avec l'augmentation de l'intensité des rayonnements qui dépassent largement celle appliquée dans notre étude (> 0,20 KGy). Les résultats de nos essais laissent apparaître une augmentation du poids de mille grains aux doses de 0,10KGy et 0,20 KGy. **Singh & Datta (2010)** et **Grover & Khan (2014)** ont également noté une amélioration dans ce paramètre à des doses allant de 0,01 à 0,25Gy. **Balkan et al (2021)**, travaillant sur trois génotypes de blé panifiable ionisés aux doses de 0,20 et 0,30KGy ont abouti à des résultats similaires.

Nos essais ont donné un bon rendement en grains à certaines doses. Sur les cinq doses appliquées par **Rahimi & Bahrani (2013)** sur deux variétés de blé tendre, seule la dose de 25 Gy a donné le rendement le plus élevé. Ils concluent de ce fait que de fortes doses d'ionisation gamma (> 1,5 KGy) sont assez inhibitrices. Pour **Gate et al (1990)**, les facteurs pouvant affecter le rendement au sein d'une même variété peuvent être de deux types : le génotype et la période d'apparition du déficit hydrique. Selon **Khattak & Simpson (2010)**, il a été démontré qu'à fortes doses de rayonnement, une accumulation accrue des radicaux super oxydes et de dimalonaldéhyde, qui sont des espèces réactives oxygénées toxiques, est décelée. Ces structures exercent un effet inhibiteur sur la plupart des réactions biochimiques conduisant ainsi à la destruction de l'intégrité de la membrane plasmique. **Jagetia (2007)** et **Askari et al (2014)** ont

rapporté que l'ADN reste la cible la plus importante dans la cellule endommagée par les rayons gamma.

Dans l'ensemble et selon l'analyse des différents résultats obtenus sur le plan physiologique du blé (Anza) ionisé aux doses de (0,10, 0,15 et 0,20K Gy), nous pouvons déduire que seule la dose de 0,20 K Gy a contribué à l'amélioration des caractéristiques morphologiques et agronomiques de la variété locale de blé tendre (Anza), à savoir : la longueur de l'épi, le nombre de pieds levés/m², le nombre d'épis/m², le poids de 1000 grains et le rendement en grains. Pour les autres doses (0,10 et 0,15K Gy), les effets semblent être minimes pour ne pas dire pratiquement nuls.

1.7. Corrélations entre les différents paramètres physiologiques

L'étude des différentes relations entre les paramètres physiologiques étudiés a montré une corrélation négative de la hauteur de la tige avec le nombre de pieds levés ($r = -0,65$, $p = 0,007$). Cela révèle que la taille du plant augmente quand le semis est moins dense. Ce qui est expliqué par la compétitivité vis-à-vis des nutriments du sol qui diminue au détriment de l'augmentation de la masse végétative. Aucune corrélation significative entre les autres caractéristiques physiologiques et phénotypiques du blé tendre n'a été observée, sauf pour le rendement en grains qui était positivement corrélé au nombre d'épis par mètre carré ($r = 0,60$, $p = 0,044$). Les relations entre les différentes composantes du blé ont été étudiées par plusieurs auteurs. Les travaux de **Chahredine & Benderradji (2019)** réalisés sur six variétés de blé tendre cultivées en Algérie, dont la variété Anza, ont enregistré une faible corrélation négative entre le nombre d'épis/m² et le nombre de grains/épi. **Fellahi et al (2017)** ont noté que le rendement en grains est davantage lié au nombre d'épis, ce qui corroborent parfaitement nos résultats mais reste indépendant du poids de 1000 grains qui ne montre pas de relation significative avec le nombre d'épis. **Moghaddam et al (1997)** dans leur étude sur cinquante-trois lignées pures de blé tendre, ont indiqué que le rendement en grains était positivement corrélé avec le nombre de grains par épi. Le tableau (16) reprend l'ensemble des corrélations notées.

Tableau (16) : Corrélations entre les différents paramètres physiologiques

VAR	GJ1	GJ2	HT	LE	NPL	NEM ²	NGPE	PMG	RG
GJ1	1,00								
GJ2	0,32	1,00							
HT	0,40	0,39	1,00						
LE	0,33	0,42	-0,11	1,00					
NPL	0,03	0,09	-0,65*	0,35	1,00				
NGM ²	-0,28	-0,03	-0,02	-0,08	-0,31	1,00			
NGPE	0,45	0,25	0,22	0,04	-0,01	-0,09	1,00		
PMG	-0,28	0,08	-0,19	0,01	-0,14	0,32	-0,10	1,00	
RG	0,07	0,17	-0,20	0,22	0,16	0,60*	0,16	0,49	1,00

*Corrélations significatives marquées à $p < 0,05$ / GJ1 : germination en jour 1, GJ2 : germination en jour 2, HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NGM² : nombre de grains/m², NGPE : nombre de grains /épi, PMG : poids de 1000 grains, RG : rendement en grains

2. Résultats des analyses biochimiques (teneur en eau, en protéines et en amidon)

La teneur en eau des blés et dérivés est un paramètre important pour la conservation des blés et dérivés et doit se situer entre 10 et 13,5% (Fredot, 2012). Les résultats mentionnés dans le tableau (17), montrent que les teneurs en eau du blé de la deuxième année sont plus faibles que celles de la première année. Cette différence des teneurs pour les échantillons non ionisés pourrait être due à une différence de maturité du grain ou pour des conditions de température et d'humidité relative différentes au cours des deux années. Pour les échantillons ionisés, la teneur est pratiquement la même. La radiolyse de l'eau ne s'effectuant qu'à des doses élevées. Les valeurs les plus basses du blé la deuxième année sont enregistrées dans les échantillons témoins (13,13%). La variation en fonction des doses d'ionisation est significative ($p < 0,05$) pour la deuxième année, alors qu'elle ne l'est pas pour la première où $p > 0,05$, et où la teneur la plus faible est notée dans le blé ionisé à 0,10K Gy. Les augmentations notées à certaines doses (figure 28), pourraient être attribuées à une potentielle radiolyse des différents constituants surtout les lipides qui peuvent générer de nouvelles molécules d'eau.

Tableau (17) : Valeurs moyennes et résultats de l'analyse de la variance de l'effet de dose d'ionisation sur la teneur en eau (% MS) du blé des deux années

Culture	Eau	Année 1					
Dose (KGy)	M*	Effet	SC	DDL	MC	F	p
0	14,76 ± 0,212	Entre groupes	0,359025	3	0,119675	2,558525	0,128117
0,10	14,31 ± 0,245		0,3742	8	0,046775		
0,15	14,39 ± 0,142						
0,20	14,42 ± 0,247	Total	0,733225	11			
Culture	Eau	Année 2					
Dose (KGy)	M*	Effet	SC	DDL	MC	F	p
0	13,13 ± 0,122	Entre groupes	0,340492	3	0,113497	4,733982	0,03497
0,10	13,45 ± 0,122	Dans groupes	0,1918	8	0,023975		
0,15	13,38 ± 0,055						
0,20	13,59 ± 0,098	Total	0,532292	11			

M* : moyenne (de deux essais) ± l'écart type / SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité

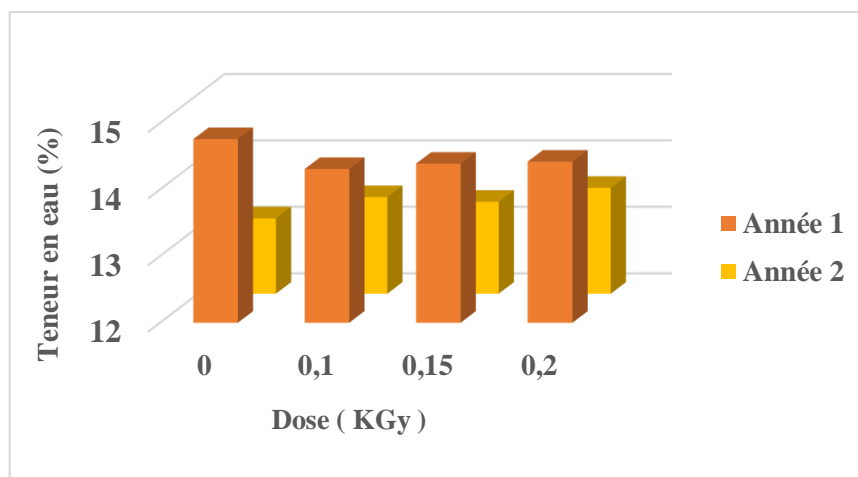


Figure (28) : Evolution de la teneur en eau du blé en fonction des doses d'ionisation

La teneur en eau des farines extraites de ce blé est donnée dans le tableau (18). En plus de son intérêt technologique, la détermination de la teneur en eau permet de rapporter tous les résultats analytiques à une même échelle qui est la teneur en matière sèche. Ceci facilitera la comparaison des résultats analytiques. Elle est aussi nécessaire pour déterminer la quantité d'eau à ajouter

pour la réalisation des tests technologiques nécessitant des teneurs en eau finales constantes (tests alvéographiques, test de panification et autre) (Feillet, 2000).

Tableau (18) : Valeurs moyennes des composants biochimiques du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation (en %MS).

Culture	Année 1			Année 2		
	Eau*	Protéines*	Amidon*	Eau*	Protéines*	Amidon*
0	15,04±0,056	13,2±0,565	63,8±0,282	14,91±0,950	13,9±0,362	64,5±0,141
0,10	15,09±0,014	13,3±0,424	63,4±0,141	14,64±0,565	14,6±0,498	63,7±0,137
0,15	15,23±0,028	13,8±0,565	62,3±0,424	14,18±0,220	14,2±0,439	63,5±0,132
0,20	13,44±0,042	13,5±0,141	61,9±0,282	14,5±0,529	14,9±0,456	62,2±0,123

* Moyenne de deux essais ± l'écart type

Les farines du blé de la variété locale Anza, présentent une teneur en eau variant entre 13,44% et 15,23 % avec des valeurs plus faibles au cours de la deuxième année. L'analyse de la variance (tableau 19), indique un effet significatif ($p < 0,05$) du facteur dose pour les deux années. Selon le journal officiel de la république Algérienne (1992), la teneur en eau des farines doit être inférieure ou égale à 15,5%. Ces teneurs sont donc conformes à la norme, ceci permettra une bonne conservation de ces farines d'une part, et d'autre part, l'ionisation à faibles doses n'influe pas sur la teneur en eau du blé. La plus élevée est observée à la dose de 0,15KGy (première année) avec une moyenne 15,23% (figure 29).

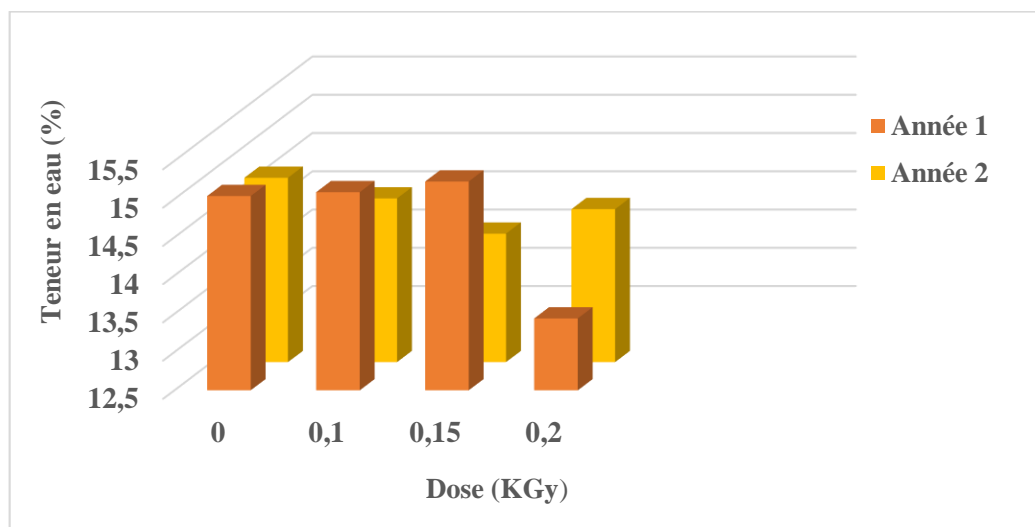


Figure (29) : Evolution de la teneur en eau des farines du blé en fonction des doses d'ionisation

La teneur en protéines est un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle et technologique du blé. Il existe une relation entre la teneur en protéines et la valeur boulangère,

cependant la qualité de la protéine peut varier d'une variété à une autre en fonction des conditions agro-climatiques (Godon, 1991). Dacosta (1986) apporte que la teneur en protéines n'est pas un critère fidèle de la qualité boulangère, cette dernière est en effet régie par la qualité du gluten (gluténines et rapport gluténines/gliadines).

L'analyse des résultats obtenus montrent que les teneurs varient entre 13,2% et 14,9% (tableau 18). La variation est non significative au cours de la première année ($p > 0,05$) et hautement significative ($P < 0,001$) au cours de la deuxième (tableau 19). Ces valeurs appartiennent aux normes établies par Atwell (2001) qui préconise des teneurs en protéines de blé, variant entre 7 à 15% de matière sèche. La valeur la plus élevée est observée à la dose de 0,20 KGy (année 2) avec une moyenne de 14,9%, contre la plus basse à 13,2% (année 1) pour les échantillons témoin. Le blé de la deuxième année présente des teneurs en protéines plus élevées que celles de la première (figure 30). Cette augmentation est due entre autre, selon des auteurs, aux facteurs climatiques et aux conditions de culture (taux d'azote).

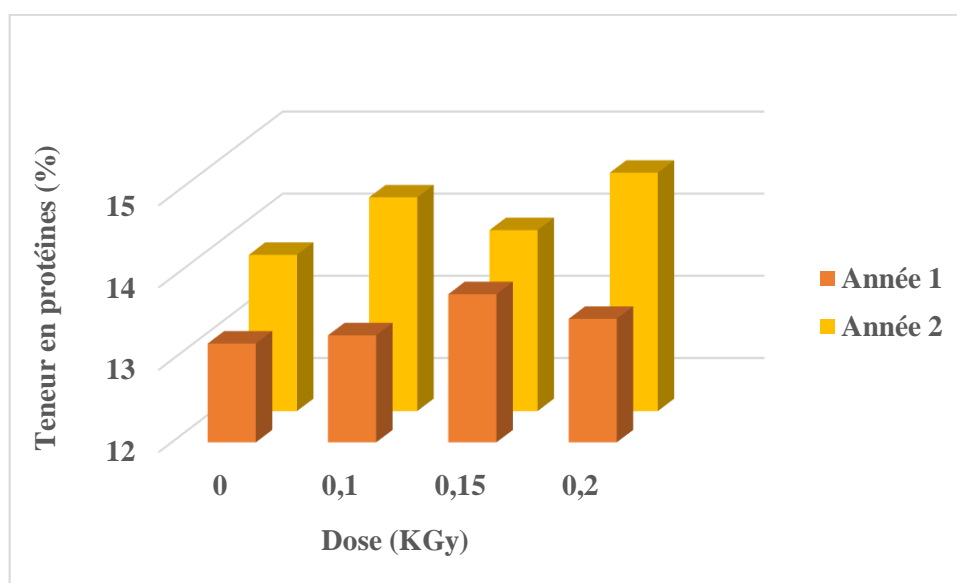


Figure (30) : Evolution de la teneur en protéines du blé en fonction des doses d'ionisation

L'amidon est le principal constituant de la farine. Son rôle nutritionnel est d'une grande importance car il représente la source de calories la plus importante. Si sa teneur n'est pas un facteur limitant de la qualité de la farine du blé (Gallais et Bannerot, 1992), ses propriétés physicochimiques peuvent affecter d'une façon directe le travail de la pâte.

Les résultats indiqués dans le tableau (18), montrent que les teneurs en amidon varient de 61,9% à 64,5%, celles de la deuxième année sont plus élevées que celle de la première (figure 31). La dose d'ionisation a fait varier les moyennes des teneurs en amidon d'une manière très hautement significative ($p < 0,001$) pour les deux années (tableau 19). L'analyse quantitative montre une évolution dans un sens décroissant de la teneur en amidon avec l'augmentation des doses

d'ionisation. Cette diminution de la teneur en amidon serait selon certains auteurs, le résultat du phénomène de radiodépolymérisation qui provoque une hydrolyse de l'amidon avec libération de sucres fermentescibles et de dextrans.

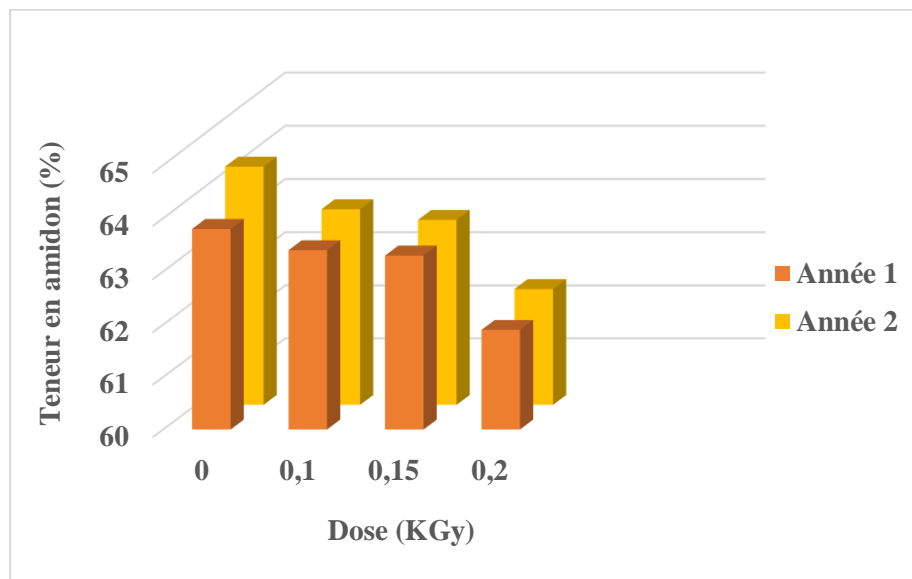


Figure (31) : Evolution de la teneur en amidon du blé en fonction des doses d'ionisation

Tableau (19) : Analyse de la variance des paramètres biochimiques en fonction des doses d'ionisation

Culture	Année 1					
Paramètre	Effet	SC	DDL	MC	F	p
Eau	Ord.Org	2593,080	1	2593,080	2593080	0,00
	Dose	6,320	3	2,107	2107	0,00
	Erreur	0,008	8	0,001		
Protéines	Ord.Org	2176,213	1	2176,213	15544,38	0,000000
	Dose	0,187	3	0,062	0,44	0,727822
	Erreur	1,120	8	0,140		
Amidon	Ord.Org	47401,47	1	47401,47	790024,5	0,000000
	Dose	7,07	3	2,36	39,3	0,000039
	Erreur	0,48	8	0,06		
Paramètre	Année 2					
	Effet	SC	DDL	MC	F	P
Eau	Ord.Org	2546,836	1	2546,836	30562032	0,00
	Dose	0,813	3	0,271	3251	0,00
	Erreur	0,001	8	0,000		
Protéines	Ord.Org	2494,083	1	2494,083	124704,2	0,000000
	Dose	1,697	3	0,566	28,3	0,000131
	Erreur	0,160	8	0,020		
Amidon	Ord.Org	48348,91	1	48348,91	1450467	0,000000
	Dose	8,12	3	2,17	81	0,000002
	Erreur	0,27	8	0,03		

SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité

2.1. Discussion

De cette étude, il est apparu une variation des teneurs en eau et en protéines du blé (Anza) à différentes doses. Ceci est en accord avec les résultats d'**Ahmed et al (2017)** obtenus de l'étude d'un blé tendre ionisé aux rayons gamma, et qui ont observé une diminution de la teneur en eau à 3,5 KGy et une augmentation à 2,5 KGy. **Khan et al (2005)** suggèrent que les rayons gamma interagissent avec les molécules de la matière, y compris l'eau, induisant ainsi leur radiolyse puis leur diminution. Par ailleurs, pour ce qui l'en est des teneurs en protéines, qui ont enregistré une augmentation à certaines doses et une diminution pour d'autres. Elles sont dans le même sens que celles de **Rahimi & Bahrani (2011)** qui ont également observé, dans leur étude sur deux variétés de blé tendre ionisés par des rayonnements gamma une diminution de la teneur en protéines des grains arrivant jusqu'à 28 à 67% aux doses supérieures à 0,5 KGy. Cette diminution pourrait être due, selon ces auteurs, à la dénaturation partielle des protéines sous l'effet de l'ionisation gamma. Par contre nos résultats s'avèrent être en contradiction avec ceux rapportés par **Borzouei et al (2013)** qui ont signalé une augmentation de la teneur en protéines

du blé tendre à 0,30 et 0,40 KGy. Ceci dit, pour ce qui l'en est de l'amidon, il a été noté une diminution régulière de sa teneur avec l'augmentation de l'intensité des radiations gamma. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Mac Arthur & D'Appolonia (1984)**, **Hayashi & Kawashima (1985)** et **Kang & Byun (1996)** qui ont également observé une diminution de la teneur en amidon avec l'intensité des rayons gamma dans du blé traité avec ces rayonnements. Ils ont en effet expliqué ces résultats par la rupture des liaisons glycosidiques, il s'ensuit une formation de chaînes plus courtes entraînant un comportement physicochimique différent de la molécule mère (différence de solubilité et de poids moléculaire). **Borzouei et al (2013)**, par le biais d'observations en microscopie électronique à transmission, ont affirmé que les chloroplastes sont extrêmement sensibles aux rayons gamma comparativement aux autres organites cellulaires, elles donnent en effet une apparence gonflée sous le microscope. **Hammad et al (2017)** soulignent que l'ionisation gamma à une dose de 5 KGy d'un blé tendre n'avait pas d'effet significatif sur sa composition chimique majeure (eau, lipides, protéines, teneur en sucres et cendres). Par ailleurs, **Ahmed et al (2017)** ont obtenu un effet négatif de la dose de 4,5KGy sur les paramètres physiologiques et morphologiques de deux variétés de blé tendre, alors qu'elle n'a pas affecté les composants biochimiques. De nombreux auteurs affirment que l'irradiation des aliments jusqu'à 10 KGy ne provoque aucun changement dans leurs principaux composants chimiques (**Hameed et al, 2008**).

En somme, on pourrait déduire que la composition biochimique en terme de teneur en eau, en protéines et en amidon, du blé (Anza) ionisé aux faibles doses de rayons gamma (0,10, 015 et 0, 20KGy) reste stable, du fait que les teneurs obtenues répondent toujours aux normes exigées, bien qu'il y a eu la constatation de quelques fluctuations, dues à la réponse du blé aux rayonnements ionisants gamma.

3.Résultats des analyses Technologiques sur la farine extraite du blé des deux années

3.1. Taux de gluten

Le gluten est responsable des propriétés rhéologiques de la pâte. Il est principalement composé de deux groupes protéiques de réserve : les gliadines (prolamines) et les gluténines (**Bushuk, 1986**). **Perten (1989)** considère que l'élasticité de la pâte est due aux gliadines et que sa ténacité dépend plutôt des gluténines.

Les résultats du tableau (20) montrent que les farines du blé des deux années présentent des taux de gluten humide variant entre 32,82% et 47,36%. Une augmentation est notée en fonction

des doses à la première année et aux doses de 0,10 et 0,20KGy à la deuxième comparativement au témoin non ionisé (figures, 32 et 33). Cette variation s'avère non significative ($p>0,05$) pour les deux années (tableau 21).

Tableau (20) : Valeurs du gluten de la farine du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation

Dose (KGy)	Année 1			Année 2		
	Gluten humide (%)	Gluten sec (%)	Gluten index (%)	Gluten humide (%)	Gluten sec (%)	Gluten index (%)
0	37	12,30	58,8	35,05	13,10	74,97
0,10	37,08	13,60	56,75	39,47	15,82	66,78
0,15	37,65	13,53	67,36	32,82	13,68	81,99
0,20	47,36	13,08	68,43	39,49	13,56	79,02

Pour le gluten sec (tableau 20). La valeur la plus faible est observée dans les échantillon témoin (année 1) avec 12,30 %, et la plus élevée est enregistrée à la dose 0,10 KGy (année 2) avec 15,82%. Le taux de rétention en eau (différence entre le gluten humide et sec) le plus élevée (34,28%) a été donné par les farines issues des échantillons de la première année ionisés à 0,20KGy, tandis que leurs témoins ont présenté un taux de rétention de 24,7%. Les farines étudiées présentent également des valeurs de gluten index variant entre 56,75% et 81,99% (tableau 20). Une amélioration dans les valeurs du gluten index est remarquée à la deuxième année (figures, 32 et 33), notamment à la dose de 0,15KGy (81,99%, à la deuxième année), avec une variation significative (tableau 21).

Plusieurs auteurs ont souligné que la composition du gluten est un facteur déterminant dans la force d'une farine. La quantité et la qualité de ce dernier sont responsables des propriétés viscoélastiques de la pâte (extensibilité et élasticité) mesurables à l'alvéographe ou au farinographe. On pourra ainsi noter une amélioration de la qualité pour les échantillons de la deuxième année à la dose 0,20 KGy (47,36% en gluten humide), et à celle de 0,15KGy (81,99% de gluten index).

Tableau (21) : Analyse de la variance du taux de gluten en fonction des doses d'ionisation

Paramètre	Effet	SC	DDL	MC	F	p
Gluten humide	Année	25,4184	1	25,4184	3,97	0,1402
	Dose	83,2834	3	27,7611	4,24	0,1296
	Résiduel	19,1917	3	6,39725		
	Total corr	127,894	7			
Gluten sec	Année	1,66531	1	1,66531	4,01	0,1389
	Dose	4,23894	3	1,41298	3,40	0,1706
	Résiduel	1,24534	3	0,415113		
	Total corr	7,14959	7			
Gluten index	Année	330,502	1	330,502	72,77	0,0034
	Dose	222,148	3	74,0494	16,30	0,0232
	Résiduel	13,6254	3	4,4178		
	Total corr	566,276	7			

SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité

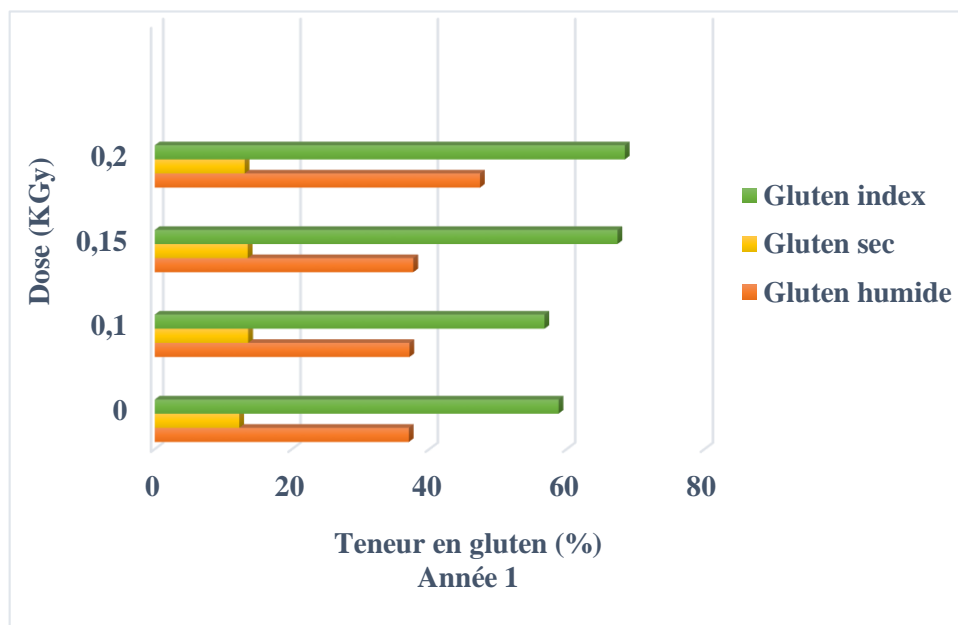


Figure (32) : Evolution du gluten du blé de la première année en fonction des doses d'ionisation

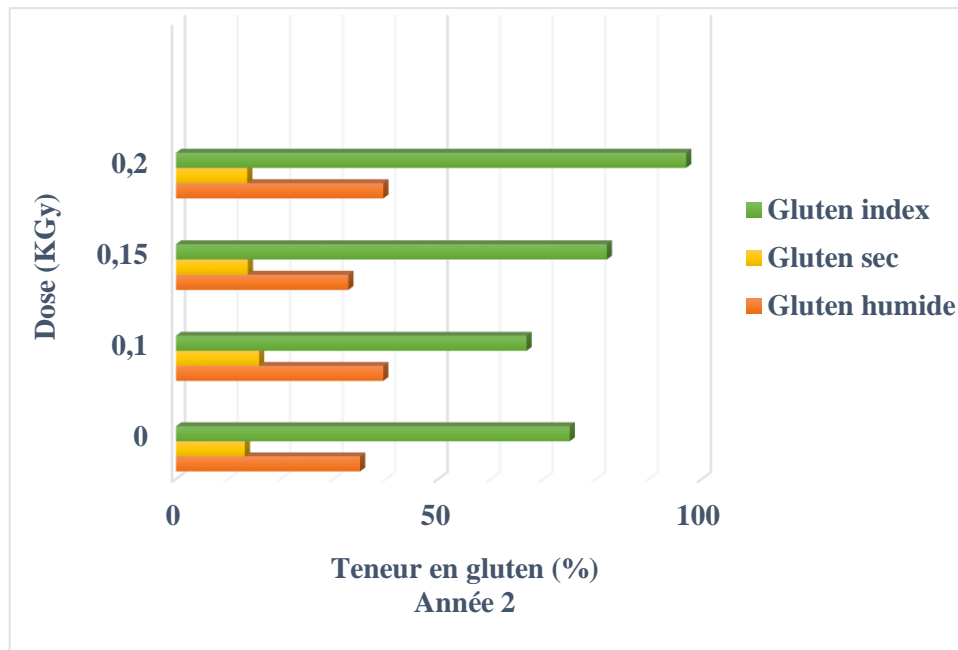


Figure (33) : Evolution du gluten du blé de la deuxième année en fonction des doses d'ionisation

3.2. Volume de sédimentation et Indice de chute de Hagberg

L'indice de sédimentation (de Zeleny) est un test qui est utilisé pour la détermination de la qualité des protéines de la farine. Ce test est basé sur les propriétés de gonflement des protéines en milieu acide. Plus les protéines sont de bonne qualité, plus leur force de rétention en eau est importante et plus le volume de sédimentation est élevé. Il permet d'apprécier la qualité du gluten et sa valeur est déterminante de sa composition en protéines. Il contribue ainsi à une estimation indirecte de la force des blés (Mekkaoui *et al*, 2000).

Les résultats obtenus (tableau 22 et figure 34), montrent que les volumes de sédimentation s'améliorent d'année en année avec l'augmentation des niveaux de doses appliquées. Cette amélioration est perceptible à la dose de 0,15K Gy pour la première année (44,4ml) et à 0,20K Gy pour la deuxième (50,2ml). Comparée au témoin, cette augmentation est de 5,6% pour la première année et de 19,3% pour la seconde. Cette modification dans les propriétés du gluten aura sans doute un effet sur le comportement physicochimique des pâtes et la qualité des pains obtenus. De plus, la variation s'avère être significative ($p < 0,05$) dans le cas de la première année et hautement significative ($p < 0,001$) dans la deuxième année (tableau 23).

Tableau (22) : Valeurs moyennes de l'indice de sédimentation et de l'indice de chute de la farine du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation

Culture	Année 1	Année 2
Dose (KGy)	Volume de sédimentation (ml)*	Volume de sédimentation (ml)*
0	41,8 ± 0,070	40,5 ± 0,381
0,10	42,7 ± 0,212	44,5 ± 0,459
0,15	44,4 ± 0,707	42,6 ± 0,445
0,20	42,1 ± 0,353	50,2 ± 0,692
Culture	Année 1	Année 2
Dose (KGy)	Indice de chute (s)*	Indice de chute (s)*
0	470 ± 1,414	374 ± 1,732
0,10	483 ± 2,404	373 ± 0,388
0,15	548 ± 2,262	365 ± 0,176
0,20	442 ± 1,414	355 ± 0,141

* Moyenne de deux essais ± l'écart type

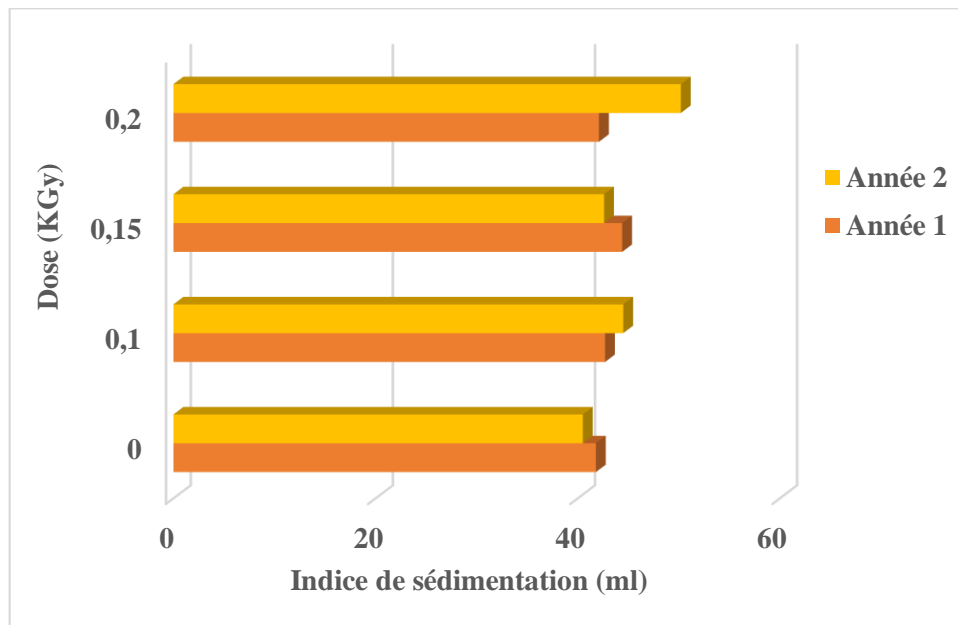


Figure (34) : Evolution de l'indice sédimentation du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation

Tableau (23) : Analyse de la variance de l'indice de sédimentation et de chute en fonction la dose d'ionisation

Paramètre	Année 1					
	Effet	SC	DDL	MC	F	p
Volume sédimentation	Ord.Org	22003,49	1	22003,49	195586,5	0,000000
	Dose	13,61	3	4,54	40,3	0,000036
	Erreur	0,90	8	4,54		
Indice de chute	Ord.Org	2832408	1	2832408	2832408	0,000000
	Dose	18186	3	6062	6062	0,000000
	Erreur	8	8	1		
Paramètre	Année 2					
	Effet	SC	DDL	MC	F	P
Volume sédimentation	Ord.Org	23699,85	1	23699,85	1969517	0,000000
	Dose	158,61	3	52,87	4394	0,000000
	Erreur	0,10	8	0,01		
Indice de chute	Ord.Org	2654672	1	2654672	2654672	0,000000
	Dose	1056,5	3	4592	989,6	0,000000
	Erreur	6	8	0,7		

SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité

L'indice de chute est un indicateur de l'activité α amylasique et rend compte du degré d'hydrolyse de l'amidon. Cet indice mesure indirectement l'activité des α amylases qui peut devenir excessive dans le cas d'une présence de grains germés ou en voie de germination. Il indique en fait, le degré de pregermination du grain et le taux de décomposition de l'amidon en sucres de poids moléculaire plus faible (Sassi, 2008). L'activité α -amylasique doit représenter, selon Bard (1997), un indice optimum pour la panification, elle est inversement proportionnelle au temps de chute de Hagberg. Ainsi un indice < 180s indique que l'activité est hyper-diastrasique et que la farine est impropre à la panification, tandis qu'un indice > 300s révèle une activité hypo-diastrasique nécessitant une correction par addition d'amylase fongique ou par apport de sucres fermentescibles, alors qu'un indice de 260s est l'optimum recherché.

Les échantillons de la farine issue du blé (Anza) présentent un temps de chute de plus de 300s (tableau 22), caractérisant ainsi une farine hypo diastrasique qui donne des pâtes à fermentation lente. Le temps de chute de Hagberg relatif à l'échantillon témoin est de 470s dans la farine de la première année est de 374s pour celle de la deuxième année, ceci indique que la variété (Anza) présente une faible activité amylasique très éloignée de la norme requise, ce qui

nécessitera soit un coupage avec une farine hyperdiastatique ou bien un apport d'α-amylases fongiques ou de sucres simples. L'analyse de la variance (tableau 23), montre un effet hautement significatif du facteur dose ($p < 0,001$) pour les deux années. Une baisse des indices de chute avec l'augmentation des doses a été notée à la deuxième année ainsi qu'une diminution des valeurs en comparaison avec celles de la première année (figure 35). Cette diminution du temps de chute, qui connaît son maximum à la dose 0,20 KGy (355s), n'atteint pas la limite minimale de 180s requise pour un blé panifiable en l'état. Le traitement ionisant de par son effet sur les propriétés physicochimiques de l'amidon (radiolyse) peut contribuer d'une façon indirecte à améliorer les valeurs de l'indice de chute.

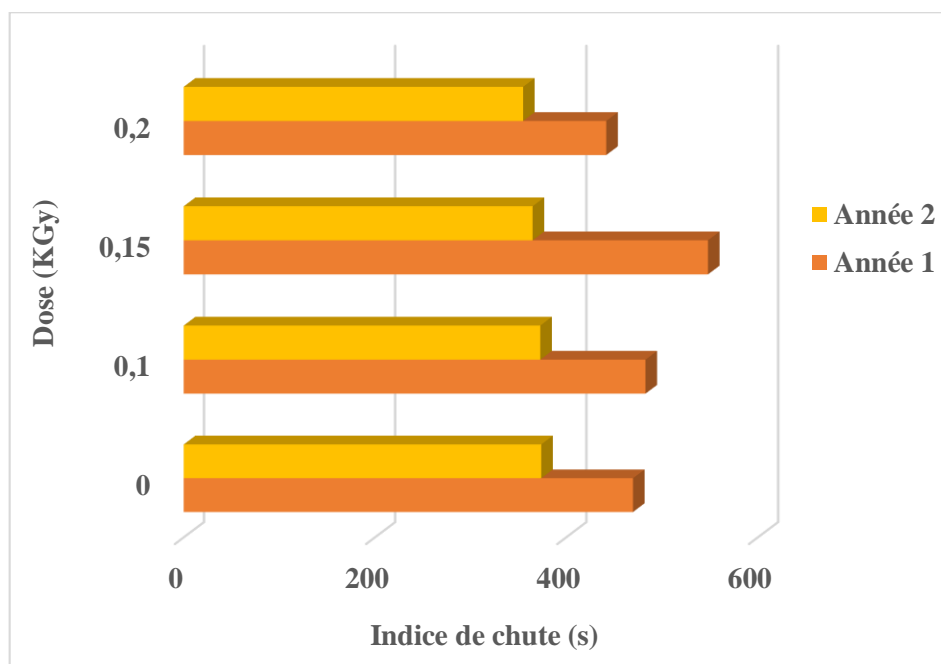


Figure (35) : Evolution de l'indice de chute de Hagberg du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation

3.3. Analyses technologiques à l'alvéographe Chopin

Le test à l'alvéographe Chopin est largement utilisé dans la détermination de la force du gluten de blé (Del Frate & Stephan, 2005), il fournit des valeurs qui sont couramment utilisées par les meuniers pour assurer un processus de transformation plus cohérent de la farine. L'alvéographe Chopin mesure et enregistre le travail nécessaire à la déformation d'un pâton. Il permet ainsi l'appréciation de sa force boulangère. A partir de la courbe obtenue (alvéogramme), nous déduirons la ténacité (P), l'extensibilité ou abscisse moyenne à la rupture (L), le gonflement (G), le travail de déformation (W), et le rapport de configuration (P/L). Les alvéogrammes sont donnés en Annexe (3).

L'alvéographe est bien adapté pour mesurer les caractéristiques de la pâte, ainsi, une farine avec une valeur P (ténacité) faible est préférable pour les biscuits et autres produits de viennoiserie contre une farine avec des valeurs de (P) élevées pour les pains.

Les résultats obtenus et représentés dans le tableau (24), laissent apparaître que les valeurs de la force boulangère des farines ou travail de déformation (W) se situent entre 120 et 161.10⁻⁴Joule. La norme Algérienne (1992) fixe le (W) dans l'intervalle de 130 à 180.10⁻⁴Joule pour les farines panifiables. Le (W) le plus faible (120.10⁻⁴Joule) atteint dans cette étude se situe en dessous de la limite minimale requise et est obtenue avec la dose de 0,15KGy pendant la première année. La valeur la plus élevée (161.10⁻⁴Joule) est enregistrée à 0,10KGy dans la farine du blé de la première année (figure 36). L'augmentation de la force boulangère (W) traduit du point de vue technologique, une meilleure résistance de la pâte à la pression et une production gazeuse durant la fermentation panaire. On estime que le travail de déformation de la pâte nécessaire à la création d'une bulle, peut être considéré comme le modèle de ce qui se passe en boulangerie lors de la formation des alvéoles sous l'action du gaz carbonique dégagé au cours de la fermentation panaire (Boudreau, 1992). Sur les deux années, il a été remarqué pour la première année que le (W) a pu avoir montré une amélioration à la dose de 0,10KGy, et a tendance à diminuer aux doses de 0,15 et 0,20KGy. Pour la deuxième année, la cinétique est totalement inversée puisqu'une amélioration a été observée avec l'augmentation des doses et ceci comparativement au témoin.

Tableau (24) : Valeurs des paramètres alvéographiques de la farine du blé des deux années en fonction des doses d'ionisation

Culture	Année 1				
Dose (KGy)	W (10⁻⁴Joule)	G (mm)	P (mm)	L (mm)	P/L
0	145	22,1	57	99	0,58
0,10	161	26,1	54	138	0,39
0,15	120	28,4	36	163	0,22
0,20	124	27,2	40	149	0,27
Culture	Année 2				
Dose (KGy)	W (10⁻⁴Joule)	G (mm)	P (mm)	L (mm)	P/L
0	125	28,3	40	162	0,25
0,10	139	29,4	43	174	0,25
0,15	138	27,9	48	157	0,31
0,20	156	30,8	46	191	0,24

W : travail de déformation / G : gonflement / P : ténacité / L : extensibilité / P/L : rapport de configuration.

Les indices de gonflement (G) des farines de blé tendre témoin et ionisé varient entre 22,1 et 30,8 mm (tableau 24). Ces résultats révèlent que les farines de la variété (Anza) sont conformes à la norme d'une farine panifiable et dont le $G > 20$ (**Paillard et al, 2002**), il est en effet bon pour les deux années. Ce gonflement augmente en fonction de la dose, sauf à la dose de 0,20K Gy pour la première année et à 0,15K Gy pour la deuxième, où il enregistre une diminution comparativement au témoin (figures 36 et 37). L'indice de gonflement (G) est un critère de la qualité des farines, il renseigne sur l'extensibilité de la pâte et permet d'apprécier son aptitude à retenir le gaz carbonique (**Alais et Linden, 2003**). Très extensibles quand elles sont hydratées, les Gliadines confèrent à la pâte son extensibilité, sa viscosité et sa plasticité. Nous remarquons ainsi que les résultats de (L) ou extensibilité et (G) vont dans le même sens, selon ce qui est donné dans le tableau (24) et les figures (36) et (37). D'après **Godon & Bérot (1991)**, cette progression linéaire entre (L) et (G) est la conséquence d'un effet variétal. Alors que **Branland & Dardevet (1985)** considèrent que la convergence de ces deux paramètres est le résultat de la teneur en protéines, notamment de la composition en gliadines. L'augmentation de ces deux paramètres est associée à une teneur élevée en protéines, beaucoup plus la fraction la fraction gliadines par rapport à celle des gluténines, et à une texture plus tendre de l'albumen et une faible teneur en pentosanes (**Abecassis, 1996**).

Selon les travaux de **Koksel et al (1998)**, l'augmentation de la teneur en eau de la farine suite à l'augmentation du taux d'endommagement de l'amidon et les variations des propriétés viscoélastiques du gluten seraient à l'origine de cette variation.

Le rapport P/L ou rapport entre ténacité et extensibilité, est associé à un équilibre dans les caractéristiques physiques des pâtes (**Le Blanc, 2008**). Les gliadines contribuent à la viscosité et à la plasticité de la pâte et les gluténines assurent sa ténacité et son élasticité (**Alais et al, 2003**).

Les rapports P/L obtenus se situent entre 0,22 et 0,58 (tableau 24). La norme Algérienne publiée dans le **Journal Officiel de la République Algérienne (1992)**, fixe un rapport de configuration variant entre 0,45 et 0,65. Ainsi la plupart des valeurs obtenues, à l'exception du témoin de la première année, ne répondent pas à cette norme, ce qui veut dire que ces rapports sont moins équilibrés pour les deux cultures. Ces indices sont plus élevés à la première année (figure 36) comparativement à ceux de la deuxième année (figure 37). Sur la première année, le rapport P/L diminue avec l'augmentation des doses, alors que pour la deuxième année, ce rapport reste pratiquement stable. Cette élévation est en relation directe avec le rapport Gliadines/Gluténines

à haut poids moléculaire. En effet, plus ce rapport est faible et plus la pâte est tenace et inversement.

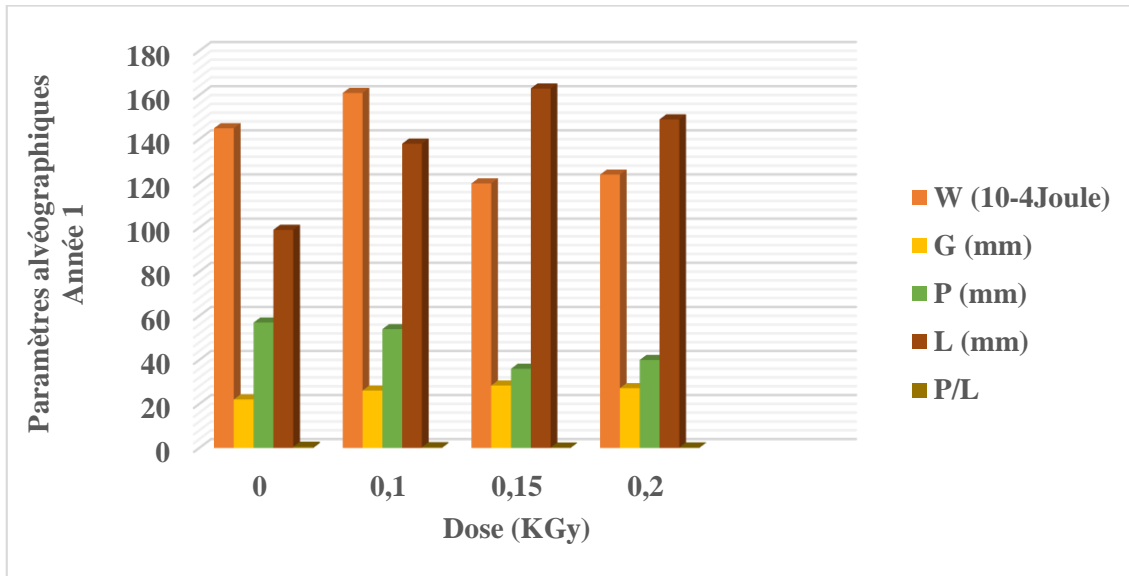


Figure (36) : Evolution des paramètres alvéographiques des farines du blé de la première année en fonction des doses d'ionisation

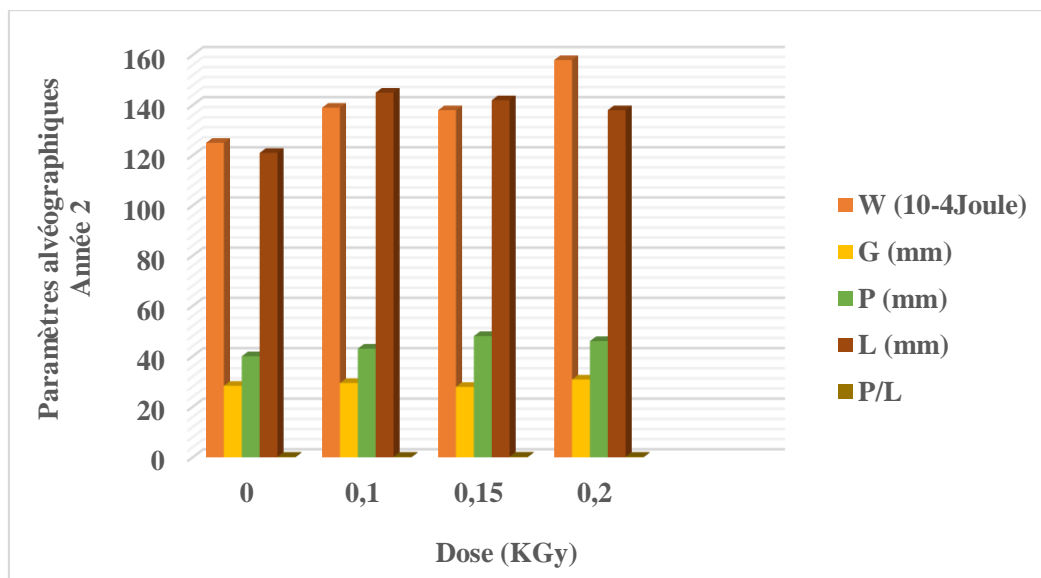


Figure (37) : Evolution des paramètres alvéographiques des farines du blé de la deuxième année en fonction des doses d'ionisation

Notons que l'analyse de la variance des paramètres alvéographiques (tableau 25) révèle une variation non significative ($p > 0,05$).

Tableau (25) : Analyse de la variance des paramètres alvéographiques en fonction des doses d'ionisation

Paramètre	Effet	SC	DDL	MC	F	p
W (10⁻⁴j)	Année	8,0	1	8	0,02	0,8923
	Dose	474,0	3	158,0	0,43	0,7481
	Résiduel	1108,0	3	369,333		
	Total	1590,0	7			
G (mm)	Année	19,845	1	19,845	5,21	0,1067
	Dose	16,045	3	5,34833	1,40	0,3934
	Résiduel	11,425	3	0,80833		
	Total	7,14959	7			
P (mm)	Année	12,5	1	12,5	0,13	0,7398
	Dose	73,0	3	24,3333	0,26	0,8521
	Résiduel	282,5	3	94,1667		
	Total	368,0	7			
L (mm)	Année	2278,13	1	2278,13	5,45	0,1018
	Dose	1696,38	3	565,458	1,35	0,4050
	Résiduel	1254,38	3	418,125		
	Total	5228,88	7			
P/L	Année	0,0210125	1	0,0210125	1,32	0,3338
	Dose	0,0322375	3	0,0107458	0,68	0,6226
	Résiduel	0,0477375	3	0,0159125		
	Total	0,100987	7			

SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité/ W : travail de déformation / G : gonflement / P : ténacité / L : extensibilité / P/L : rapport de configuration.

De l'analyse de la variance de l'ensemble des paramètres étudiés (biochimiques et technologiques) donnée dans le tableau (26), il en ressort une très haute interaction significative entre le paramètre et la dose d'ionisation ($p < 0,0001$), ce qui signifie que les potentialités étudiées du blé (Anza) ont été affectées par le traitement ionisant aux rayons gamma. De plus, l'interaction entre les deux années de culture en tableau (27) est hautement significative ($p < 0,001$).

Tableau (26) : Résultats de l'analyse de la variance de l'interaction entre le paramètre et la dose d'ionisation

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord. Origine	405667,9	1	405667,9	764128,0	0,000000
Paramètre	721746,3	4	180436,6	339875,7	0,000000
Dose	52,4	3	17,5	32,9	0,000000
Paramètre*dose	525,1	12	43,8	82,4	0,000000
Erreur	10,6	20	0,5		
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord. Origine	614048	1	614048,4	1558301	0,00
Paramètre	1322974	4	330743,4	839344	0,00
Dose	2617	3	872,3	2214	0,00
Paramètre*dose	9490	12	790,8	2007	0,00
Erreur	8	20	0,4		

SC : Somme des carrés / DDL : Degré De Liberté / MC : Moyenne des carrés / F : Le nombre Fischer / p : Probabilité

Tableau (27) : Résultats de l'analyse de la variance de l'interaction entre les deux années de culture

Culture	F (paramètres)	p	F (doses)	p	F (paramètres * doses)	P
Année 1	339875,7	< 0,001***	32,9	< 0,001***	82,4	< 0,001***
Année 2	839344	< 0,001**	2214	< 0,001**	2007	< 0,001**

F : Le nombre Fischer / p : Probabilité / * *p pour p <0,001, *** p pour p <0,0001

3.4. Discussion

Il ressort de cette étude des variations dans les taux de gluten en fonction des doses d'ionisation appliquées. En effet, certaines doses ont provoqué de légères diminutions, alors que des augmentations ont été observées pour d'autres. D'après **Gresel (2000)**, les farines qui présentent un gluten humide supérieur à 26%, seront orientées vers la panification spéciale. **Ugrinovits et al (2004)** ont décrit que la force des farines suit celle du gluten humide. Les farines usuelles à force moyenne ont des teneurs de l'ordre de 27 à 37% et celles provenant de blé très forts peuvent présenter des teneurs allant jusqu'à 45%, alors que des pourcentages inférieurs à 25% signalent une farine faible. Sur la base de ce classement, on pourrait déduire que la variété « Anza » conviendra à être orientée vers la panification spéciale (GH>26%). En outre, **Chene (2001)** rapporte que le gluten humide possède des propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité (figure 38) qui peuvent influencer sur le comportement des pâtes en cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte,...).

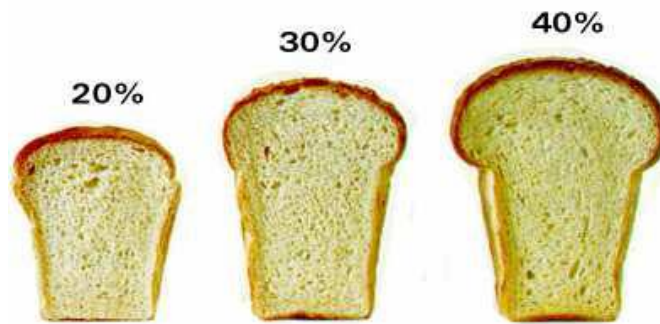


Figure (38) : Influence de la quantité de gluten humide (en%) sur le volume du pain
(Chene, 2001)

D'autre et après **Landi (1993)**, le blé ayant une teneur en gluten sec supérieure à 12 % serait d'une bonne qualité. Ainsi, pour les farines issues du blé « Anza » les valeurs sont très remarquables (> toutes à 12%), ce qui laisse prévoir que cette variété serait de bonne qualité boulangère.

L'augmentation du taux de gluten sec dans un blé ionisé aux rayons gamma, est d'après **Mac Arthur & d'Apollonia (1984)**, la résultante d'une polymérisation et/ou condensation suite à la réaction des radicaux libres issus de la radiolyse des constituants lipidiques et glucidiques avec les protéines du gluten ayant des groupements SH. Ils indiquent par ailleurs que l'évolution du gluten est sous la dépendance de la dose reçue. Cette dernière peut provoquer soit une désagrégation des gluténines constituant le gluten ou une polymérisation de certains types de gliadines par le biais de groupements SH provenant des acides aminés soufrés (méthionine, cystéine et cystine).

L'effet de l'ionisation aux rayons gamma sur les gluténines et gliadines a été étudié en détail et quantifié par chromatographie liquide haute performance dans l'étude de **Koksel et al (1998)**, sur deux variétés de blé tendre et une variété de blé dur. Ils ont constaté qu'il n'y a pas eu d'effet observable de l'ionisation sur les protéines de gliadine analysées par électrophorèse sur gel de polyacrylamide à des doses inférieures à 5K Gy, alors qu'en parallèle, à des doses plus élevées jusqu'à 10, voir 20K Gy, la fraction de gluténine insoluble dans le 1-propanol à 50 % (50 PI) a été fortement affectée par l'irradiation, les gluténines ont montré une réduction notable de l'intensité des bandes des sous-unités de haut et de bas poids moléculaire. Des niveaux croissants d'irradiation ont également réduit progressivement le rapport HPM/BPM- jusqu'à 13-15 % à 20 kGy, ce qui induira un affaiblissement des propriétés de malaxage de la pâte.

Payne et al (1987), rapportent que le gluten index détermine la force des blés qui est liée à la qualité et à la quantité des gluténines et gliadines. Ce critère est en fait utilisé pour identifier un faible, fort et très fort gluten. En général, un gluten index inférieur à 5% indique une force faible, tandis qu'une valeur supérieure ou égale à 85% indique un gluten de très bonne force. Les faibles valeurs de gluten index s'explique par le fait que l'ensemble des protéines ne forment pas une masse viscoélastique lors de l'extraction à l'appareil « Glutomatic ». **Bar L'Hegouac'h et al (2004)**, confirment que les valeurs de gluten index proches de 100, donnent un gluten élastique et qu'un gluten de meilleure qualité, permet de concrétiser une meilleure qualité boulangère, prouvée par un volume assez élevé du pain. Dans cette étude, le gluten index a augmenté jusqu'à atteindre une valeur de 81,99 % et ceci à la dose de 0,15K Gy, ce qui aura comme conséquence une amélioration de la qualité du gluten et par la qualité technologique de la farine. De plus, selon **Perten (1990)**, ces teneurs révèlent un gluten équilibré, ce qui prouve que le gluten extrait de la farine du blé (Anza) est un gluten équilibré. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Anwar et al (2015)**, qui ont travaillé sur l'évolution de la qualité technologique d'une farine extraite d'un blé tendre égyptien irradié aux rayons gamma à des doses (3, 6 et 9K Gy) et où le gluten index a en effet atteint 93,21% à la dose de 9K Gy. **Agundez-Arvizu et al (2006)** ont également observé les mêmes effets sur un blé tendre ionisé avec ces mêmes doses (3, 6 et 9K Gy). On pourrait conclure que les faibles doses appliquées dans notre étude, à savoir (0,10, 0,15 et 0,20K Gy), vont donc influencer positivement sur le comportement des pâtes au cours de la panification.

Il est à noter que le gluten n'est pas l'unique responsable des propriétés rhéologiques remarquables de la pâte. En effet, **Buré (1997)** a montré que le gluten purifié présente des propriétés différentes de celles qu'il affiche au sein de la pâte. De ce fait et d'après **Dacosta, 1986**), les propriétés technologiques du blé sont influencées par les interactions des protéines du gluten avec l'amidon, ainsi que les autres polysaccharides et les lipides.

Le test de sédimentation est un bon indicateur de la qualité des protéines. De nombreux auteurs ont associé ce test à la force des blés tendres, et ce paramètre est parfois exigé lors des transactions commerciales. Les valeurs obtenues dans notre étude et qui oscillent entre 40,5 et 50,8ml sont en accord avec celles citées par **Branlard et al (2001)** qui soulignent en plus que les blés tendres ont des indices de sédimentation plus forts que ceux du blé dur. Ces farines présentent des indices de sédimentation se situant dans la fourchette de 38 à 70ml qui sont caractéristiques des blés de force ou (blés améliorants).

Un volume élevé de sédimentation témoigne de la bonne qualité du gluten du blé par l'augmentation de la teneur en gluténines de faibles poids moléculaires qui sont les fractions

impliquées dans le gonflement des protéines (**Payne et al, 1987**). Sur la base de cette classification, nous pouvons dire que nos farines appartiennent à la classe des blés de force. En plus, les faibles doses d'ionisation gamma ont amélioré l'indice de sédimentation des farines, en comparaison aux témoins non ionisés, ce qui indique que les faibles doses peuvent dans certaines limites améliorer la qualité boulangère des farines. **Mekkaoui et al (2000)**, dans leur étude sur du blé ionisé aux rayons gamma à différentes doses, ont par contre constaté que cet indice diminue régulièrement avec la dose d'ionisation et que cette diminution est moins marquée pour les faibles doses, notamment à 0,25K Gy. Les travaux de **Balkan et al (2021)** sur trois génotypes de blé tendre ionisés à différentes doses de rayons gamma, ont montré que les doses de 0,20 et 0,30K Gy sont les plus appropriées pour améliorer la teneur en gluten humide, le gluten index et l'indice de sédimentation de Zeleny. Ce qui corrobore dans notre cas les résultats obtenus.

Concernant l'indice de chute de Hagberg, les farines étudiées s'avèrent être de type hypo diastasique nécessitant obligatoirement des corrections, soit par adjonction de farine maltée riche en α amylase ou par des coupages avec des farines hyper-diastasiques. D'après **Mrva et al. (2006)**, la synthèse de l' α -amylase semble être limitée à certaines cellules ou à de petits groupes de cellules dispersées aléatoirement dans toute la couche d'aleurone. **Bollen & Sinnaeve (1994)** montrent que pour un temps de chute trop élevé, la production de CO₂ sera plus faible et le pain obtenu aura des caractéristiques physicochimiques et organoleptiques limitées. Les valeurs de l'indice de chute sont influencées par le génotype et les conditions environnementales sous lesquels les grains se sont développés et ont mûri (**Mares & Mrva, 2007**). Un temps de chute élevé (> 300 s) influencera les caractéristiques technologiques de la pâte et les propriétés organoleptiques du pain, il s'ensuit ainsi une mauvaise acceptabilité du produit (**Tohver et al., 2004**). Par ailleurs, et selon ce qui a été obtenu des résultats de la deuxième année, le traitement ionisant a fait légèrement diminuer les valeurs de l'indice de chute, mais pas en dessous de la limite de 250s ou de 180s. Cette diminution s'explique par une augmentation de l'activité α amylasique. D'après **Adrian, (1989)** le traitement ionisant est susceptible d'inactiver l' α amylase et tend à dépolymériser les macromolécules (pentosanes et amidon), il en découle que les sites deviennent plus accessibles aux enzymes hydrolytiques (β amylase). Le temps de chute, est inversement proportionnel à l'activité α -amylasique, ne dépend pas uniquement de la teneur en α -amylase, mais aussi du degré d'endommagement des granules d'amidon, plus celui-ci est important, moins le temps de chute est élevé (**Feillet, 2000**). Dans leur étude sur l'influence du traitement ionisant sur la qualité boulangère d'une variété de blé

tendre, **Mekkaoui et al (2000)** ont mesuré l'indice de chute et ont remarqué que l'évolution de ce temps est fonction de la dose accumulée par les échantillons. Pour les faibles doses, ce temps augmente régulièrement et significativement pour atteindre un maximum de 300 s à 0,5K Gy et 250s à 0,25K Gy, en comparaison avec les témoins dont le nombre se situe à 251s (activité amylasique normale). Cette augmentation s'explique selon ces auteurs par une diminution de l'activité α amylasique, une diminution dans la consistance des empoids d'amidon, et par conséquent une amélioration de la qualité fermentaire de la farine du blé ionisée, laquelle pourrait connaître une légère amélioration. Cet indice diminue jusqu'à atteindre 111s (<180s) au voisinage de 6K Gy (forte dose). **Charbach (1996)**, rapporte également que l'amélioration de la qualité boulangère d'une farine ionisée serait due à des produits de dégradation de l'amidon ionisé. **Agundez-Arvizu et al (2006)** ont constaté que l'indice de chute a diminué de 11%, dans une farine de blé tendre mexicain ionisé à 3, 6 et 9K Gy. Les mêmes résultats sont obtenus par **Christian et al (2012)**, qui ont souligné que l'activité enzymatique augmente - réduction du temps de chute - au fur et à mesure que la dose de radiation augmentait dans des farines de blé ionisées, leurs valeurs étant respectivement de 388 s (1 kGy), 343 s (3 kGy) et 293 s (9 kGy). Des modifications ont été observées dans les paramètres alvéographiques de la farine issue du blé irradié (Anza), elles varient en fonction des doses d'ionisation. Ces changements sont aussi le résultat d'une combinaison des effets de la distribution de l'eau et des modifications biochimiques issues du traitement ionisant. Ces résultats concordent avec ceux de nombreuses études menées sur du blé tendre ionisé aux rayons gamma.

L'augmentation de l'absorption d'eau dans les échantillons de farine de blé ionisés pourrait être attribuée à la dégradation de l'amidon (rupture des chaînes d'amidon) et à la modification des protéines du gluten (gluténines et gliadines), suite aux effets de l'ionisation. Plusieurs auteurs, dont **Mulla et al (2010)** ainsi que **Dubat (2004)** ont rapporté que l'amidon endommagé peut absorber 2 à 4 fois son poids d'eau par rapport à un amidon non endommagé qui n'absorbe que 0,4 fois son poids. Ils rapportent que l'augmentation de l'absorption d'eau a fait augmenter la teneur en eau de la pâte, la rendant moins rigide, ce qui est souhaitable dans le processus de cuisson. **Anwar et al (2015)** ont constaté aussi que l'ionisation gamma a augmenté l'élasticité et a diminué l'extensibilité et la résistance de la pâte, notamment aux faibles doses de 1 et de 2,5K Gy. D'autres auteurs dont **El-Nashaby (1996)**, **Soliman (2004)** et **Agundez-Arvizu et al (2006)** rapportent que l'augmentation de la dose d'ionisation a conduit à une diminution marquée de l'extensibilité et de la résistance de la pâte, due à l'effet de l'ionisation sur la dégradation du gluten.

Sur la base des résultats obtenus, on pourrait conclure que les faibles doses appliquées sur le blé (Anza), notamment les doses de 0,15 et 0,20K Gy, ont influé sur les capacités technologiques de la farine issue et ont pu plus ou moins contribuer à améliorer certaines potentialités, ce qui va se répercuter sans aucun doute dans l'amélioration de la qualité des produits issus après transformation.

3.5. Corrélations entre les paramètres technologiques et certaines caractéristiques biochimiques

Les relations entre les différents paramètres étudiés révèlent des corrélations positives entre les potentialités technologiques de la farine (tableau 28), ainsi qu'avec certaines caractéristiques biochimiques. De ce fait, le gonflement (G), la force boulangère (W), l'extensibilité (L) et le rapport de configuration (P/L), sont tous corrélés positivement à la ténacité (P). De plus, le paramètre (L) est lui aussi corrélé positivement au paramètre (G) et le paramètre IS (indice de sédimentation) est corrélé positivement à la teneur en protéines, ce qui est bien évident, puisque ce paramètre est en relation avec la qualité des protéines de la farine. A l'inverse des corrélations négatives ont été constatées, d'une part, entre les caractéristiques (P) et (L) avec la teneur en amidon, et d'autre part, entre le rapport (P/L) et le gluten sec, le (G) et le (L). Il est en est de même pour le gluten sec et le paramètre (P). Certaines évolutions de ces corrélations sont représentées en Annexe (5).

Pour la plupart des variétés de blé panifiable, les caractéristiques technologiques des pâtes qui en découlent sont en relation directe avec le gluten, l'amidon et la teneur en eau. La teneur en gluten conjuguée avec les granules d'amidon endommagé de manière physique lors des opérations de mouture reflètent le pouvoir d'hydratation de la farine boulangère (**Boudreau et Menard, 1992**). Le gluten, essentiellement constitué par la fraction insoluble dans l'eau et les solutions salines des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement des pâtes en cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte...). En effet, le gluten en contribuant à la formation d'une masse viscoélastique, influe d'une façon positive sur la rétention du gaz carbonique lors de la fermentation. Il est donc clair que plus la farine est riche en protéine de réserve et avec une capacité d'hydratation élevée, meilleure serait la force boulangère. Des auteurs rapportent que la force « W » est influencée par la granulométrie de la farine qui est en relation avec la texture et en particulier les

proportions élevées en amidon endommagé et en pentosanes qui sont des polymères à cinq carbones (**Branlard et al, 2001**). En outre, la dureté, la granulométrie des particules, la teneur en pentosanes et l'amidon endommagés influent considérablement sur la ténacité et l'extensibilité de la pâte. Ceci dit, plusieurs facteurs en parallèles, peuvent rentrer pour déterminer les relations entre les caractéristiques d'un produit. Ceci est bien démontré dans le cas des farines où l'effet variétal intervient en grande partie ainsi que les conditions agro-pédologiques et climatiques dans lesquelles la culture a été conduite. Il est à noter que **Feillet (2000)** a montré que l'accroissement de la teneur en protéines se traduit par une augmentation de la pression P et du gonflement G des alvéogrammes mais certaines variétés réagissent plus que d'autres. En effet, les gliadines et les gluténines sont les principaux constituants des farines dont dépendent l'extensibilité et l'élasticité des pâtes, leur faible solubilité dans l'eau est un élément essentiel du caractère panifiable des farines. De même, les farines sont d'autant plus fortes que le rapport gluténines/gliadines est élevé.

Tableau (28) : Corrélations entre les paramètres technologiques et biochimiques des farines

V	E	Pr	Am	ICH	GH	GS	P	G	W	L	P/L	IS
E	1,00											
Pr	-0,64	1,00										
Am	-0,70	0,28	1,00									
ICH	-0,65	0,39	0,41	1,00								
GH	0,31	0,30	-0,53	-0,15	1,00							
GS	-0,28	0,02	0,50	0,54	-0,66	1,00						
P	0,33	0,08	-0,83*	-0,17	0,54	-0,71*	1,00					
G	-0,02	0,07	0,35	0,22	-0,35	0,65	0,74*	1,00				
W	0,41	0,17	-0,82*	-0,31	0,47	-0,43	0,71*	-0,08	1,00			
L	-0,01	0,09	0,36	0,22	-0,35	0,66	0,75*	1,00*	-0,10	1,00		
P/L	0,19	0,02	-0,59	-0,08	0,44	-0,71*	0,90*	-0,96*	0,33	-0,96*	1,00	
IS	0,81	0,92*	0,43	0,59	0,08	0,01	0,04	-0,23	-0,08	-0,24	0,12	1,00

*Corrélations significatives marquées à $p < 0,05$ /IS et Pr, $r=0,92$, $p=0,001$ / G et P, $r=0,74$, $p=0,035$ / W et P, $r=0,71$, $p=0,049$ / L et P, $r=0,75$, $p=0,030$ / P/L et P, $r=0,90$, $p=0,003$ / L et G, $r=1$, $p=0,000$ / P et amidon, $r=-0,83$, $p=0,010$ / W et amidon, $r=-0,82$, $p=0,012$ / P et GS, $r=-0,71$, $p=0,049$, P/L et GS, $r=-0,71$, $p=0,05$ / P/L et G, $r=-0,95$, $p=0,000$ / P/L et L, $r=-0,96$, $p=0,000$)

V=variable, E=teneur en eau, Pr= teneur en protéines, Am= teneur en amidon, ICH=indice de chute, GH=gluten humide, GS=gluten sec, W : travail de déformation / G : gonflement / P : ténacité / L : extensibilité / P/L : rapport de configuration, IS=indice de sédimentation.

Conclusion

Conclusion

Sur la base des connaissances issues de plus d'un demi-siècle de recherche, de nombreux auteurs qualifient les aliments ionisés comme sûrs et sains pour le consommateur. En outre, la technologie de l'ionisation aux rayons gamma, combinée à d'autres procédés, peut contribuer à la sécurité alimentaire, à améliorer la valeur nutritionnelle des produits et contrôler les pertes pendant leur transport et leur commercialisation. Les radiations gamma peuvent aussi être utilisées pour augmenter le taux de variabilité génétique et par conséquent, être un outil fiable de la sélection végétale et de l'amélioration génétique des plantes.

Cette étude a été conduite en adoptant la méthode de l'ionisation des blés par le traitement aux rayons gamma dans les limites des doses appropriées. L'objectif était de faire un constat sur l'effet ionisant des faibles doses, dites commerciales, de ces rayonnements sur les caractéristiques physiologiques et technologiques d'une variété locale de blé tendre (Anza) et ceci dans le but d'essayer de tirer des conclusions sur le rôle que pourraient jouer ces rayons dans l'amélioration des potentialités physiologiques et technologiques de cette variété de blé.

Les résultats obtenus ont révélé des variations dans la composition biochimique globale en terme de teneur en eau, en protéines et en amidon en fonction des doses d'ionisation. Toutefois, ces variations sont restées dans les normes d'une farine panifiable.

Sur le plan physiologique et de la croissance du blé sur deux années, les résultats ont montré que les faibles doses de rayons gamma appliquées, notamment celle de 0,20 KGy ont contribué à l'amélioration des caractéristiques morphologiques et agronomiques de la variété locale de blé tendre (Anza) dont la longueur de l'épi, le nombre de pieds levés et d'épis/m², le poids de 1000 grains et le rendement en grains, ont été les plus marqués.

Sur les paramètres technologiques des farines issues du blé ionisé (Anza), une amélioration de la teneur en gluten humide sur les deux années a été notée. Il est en est de même pour l'indice de sédimentation, de l'indice de chute de Hagberg et des caractéristiques mesurées à l'alvéographe, qui ont vu leurs valeurs s'améliorer à certaines doses (0,15 et 0,20KGy).

L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus sur la variété « Anza », ionisée aux faibles doses (0,10, 0,15 et 0,20 KGy), laisse conclure que cette dernière a pu garder sa qualité biochimique et même améliorer certaines de ses caractéristiques et potentialités physiologiques et technologiques.

Cette étude pourrait faire l'objet d'une recherche plus poussée, notamment en ce qui concerne les propriétés rhéologiques et technologiques des pâtes et pains élaborés à partir du blé issu des

deux années avec les mêmes doses appliquées, en comparaison avec d'autres variétés et génotypes. Il serait souhaitable d'élargir l'application de cette méthode de conservation pour d'autres variétés locales de blé et d'effectuer des tests de panification à différentes doses et vérifier la qualité des pains obtenus par des tests sensoriels normalisés. Il serait en plus souhaitable de réaliser des essais à grande échelle tant sur le grain que sur les plants, afin de localiser d'une manière exacte les variétés les plus résistantes aux rayons gamma en étudiant leur comportement dans le but de minimiser les pertes quantitatives et qualitatives qui pourraient se produire.

Ceci dit, Il est difficile de prévoir l'impact des changements climatiques sur l'agriculture mondiale, régionale ou nationale, par conséquent, de nouvelles variétés doivent être développées et distribuées régulièrement aux niveaux national et régional pour une production agricole durable. Les rayons gamma peuvent être utilisés pour induire de nouveaux mutants de blé en utilisant l'amélioration du matériel génétique local pour le développement de nouvelles variétés ainsi que pour la recherche fondamentale en matière de découverte de gènes fonctionnels. A cet égard, il serait souhaitable que l'Algérie relance un plan de recherche pour arriver à améliorer son potentiel local de blé et faire ainsi face aux défis de l'autosuffisance et de sécurité alimentaire.

Notons enfin que la plupart des études sur la perception des consommateurs concernant les aliments ionisés et sur la base d'une large recherche, de nombreux chercheurs dans le domaine de l'ionisation des aliments ont proposé les recommandations suivantes dans le but d'accroître l'acceptation des aliments ionisés par les consommateurs :

1. La mise en place d'une campagne d'éducation du public pour répondre aux besoins.
2. L'élaboration d'une stratégie d'application des connaissances pour les professionnels de la santé et de stratégies de communication des risques pour répondre aux perceptions des risques.
4. La détermination d'une stratégie par l'orientation de la recherche et de la surveillance continues liées à la réduction des agents pathogènes.
5. L'exploration de la volonté de la société de s'intéresser à la technologie de réduction des agents pathogènes, en tenant compte des éléments suivants : les impacts économiques associés à cette technologie, y compris les coûts directs et indirects et le potentiel de compensation des coûts supplémentaires par l'élimination de la redondance, ainsi que la question du choix des consommateurs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abecassis, J. (1996).** Comprendre la qualité : la valeur semoulière. Comment s'explique-t-elle ? Colloque. Perspectives blé dur. *INRA*. Montpellier. France. 37-58.
2. **Abou-Zeid, H.M and Abdel-Latif, S. A. (2014).** Effects of gamma irradiation on biochemical and antioxidant defense system in wheat (*Triticum aestivum L.*) seedlings. *Inter J.Adv. Res.* 2 (8): 287-300.
3. **Adrian, J. (1989).** L'irradiation des aliments : objectifs, modalités et conséquences. Industrie des céréales. 5-10 p.
4. **AFSSA, 2002** (Agence française de sécurité sanitaire des aliments). Journée d'échange sur l'agriculture biologique. Comment évaluer la valeur nutritionnelle, les bénéfices et les risques des aliments issus de l'agriculture biologique ? Quelques exemples en France et en Europe. (En ligne, consulté en Février 2018) www.afssa.fr
5. **Agred, F. (2013).** Etude de quelques farines produites en minoterie et incidence des blés punaisés sur leur qualité boulangère. Thèse Magister. Université Saad Dahlab. Blida1. 75p.
6. **Agundez-Arvizu, Z., Fernandez-Ramirez, M.V., Arce-Corrales, M.E., CruzZaragoza, E., Melendrez, R., Chernov, V. and Barboza-Flores, M. (2006).** Gammaradiation effects on commercial Mexican bread made with wheat flour. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res.* 245-455.
7. **Ahmed, S; Khan, W. M; Khan M. S; Akhtar, N; Umar, N; Ali, S; Hussain, S and Shah, SS. (2017).** Impact of gamma radiations on wheat (*Triticum aestivum L.*) varieties (Batoor and Janbaz). *Pure. Appl. Biol.* 6 (1). March : 218-225.
8. **Alais, C ; linden, G et Miclo, L. (2003).** Biochimie alimentaire. Les céréales, le pain. 5^{ème} édition. Dunod. Paris. pp133-134.
9. **Anwar, M.M; Asael, M.A. and El-Adly, N.A. (2015).** Gamma Radiation Influence on Rheological and Technological Characteristics of Wheat Flour (misr-1) and Sensory Properties of Pan Bread. *J. Nucl. Tech. Appl. Sci.* 3 (2), 89-97.
10. **Ashraf, M; Cheema, A.A; Rashid, M and Qamar, Z. (2003).** Effect of gamma rays on M1 generation in Basmati rice. *Pak. J. Bot.* 35: 791-795.
11. **Askari, M.B., Askari, N., Vahid, M. M.A., Mohsen, M and Nasrin, A. (2014).** Gamma rays destroy plant stress resistance genes. *Greener J Biochem Biotech.*1(1):1822.
12. **Atwell, W.A. (2001).** Wheat flour handbook. Ed. Eagan press, Minnesota, USA, 143p.
13. **Balkan, A; Bilgin, O, and Baser, I. (2021).** Improvement of grain quality in bread wheat genotypes through mutation breeding using gamma irradiation. *J.Agr.Sci.* 31(4), 973-981.

14. **Bar L'Hegouac'h. C ; Giraud. M et C. Cosson. (2004).** Qualité des protéines du blé tendre. La chromatographie : outil pour comprendre la qualité des variétés. *Perspectives agricoles*. 7(303). 20-25.
15. **Bard M., (1997).** Le cahier des charges farine : signification, interprétation, limites des mesures analytiques. Information apportée par les analyses physico-chimiques sur les farines. *Ind.Céréales*, 103p.
16. **Barros, A.C., Freund, M.T.L., Villavicencio, A.L.C.H., Delincée, H., and Arthur, V. (2002).** Identification of irradiated wheat by germination test, DNA comet assay and electron spin resonance. *Radiat. Phys. Chem.* 63(3-6): 423-426.
17. **Bechtel D.B., Kaleikau L.A., Gaines R.L. and Pomenaz, Y. (1982).** Early stages in wheat endosperm formation and protein body initiation. *Ann of Bot.* 50, 507-518.
18. **Begum, T and Dasgupta, T. (2011).** Effect of mutagens on character association in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Pak. J. Bot.* 43: 243-251.
19. **Benali, A.H. (2016).** Chapitre III Interaction Rayonnement – Matière. Chapter, Faculté de SNV, EHLU, El-oued. Année universitaire 2016/ 2017. The Ohio State University. 12p.
20. **Bendjabou, W. (2016).** Etude comparative des propriétés biochimiques et technologiques d'un blé tendre conservé par irradiation. Mémoire de Master en sciences agronomiques. Université Saad Dahlab. Blida1. 80p.
21. **Boisseau, P. (1991).** Application de l'ionisation en agroalimentaire. In : Ionisation des produits alimentaires ». Vasseur, J.P. Ed. *Tec & Doc. Lavoisier, APRIA*. 440p.
22. **Bollen L., & Sinnaeve G., 1994.** Méthodes d'appréciation de la qualité boulangère d'un blé ou d'une farine. *C.R.A. Gembloux Station de Haute Belgique*.
23. **Borzouei, A., Kafi, M; Sayahi, R; Rabiei, E and Sayad Amin, P. (2013).** Biochemical response of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) to gamma radiation. *Pak. J. Bot.* 45 (2) : 473-477.
24. **Boudreau. A., (1992).** Le grain de blé. Dans Le blé. Éléments fondamentaux et transformation. Éditeur : A. Boudreau et G. Ménard. *Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy*. pp. 25-50.
25. **Boufenar-Zaghouane, F et O, Zaghouane. (2006).** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC d'Alger. 1ère Ed, 152p.
26. **Bouftouh, S. (2008).** Effet de l'irradiation gamma sur les pâtes fraîches. Thèse d'ingénieur, INDSA, Chlef. 25p.

27. **Boulal, H., Zaghouane, O., El mourid, M and Rezgui, S. (2007).** Guide pratique de la condition des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). ITGC, INRA Algérie, ICARDA, 176p.
28. **Boussaha, A. (1986).** L'irradiation des aliments Perspectives d'application en Algérie. Centre d'études nucléaires et solaire. Commissariat aux énergies nouvelles. 17p.
29. **Bouthigny, A. L. (2007).** Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènes B : purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués. Thèse de doctorat. Université Bordeaux 1. 168p.
30. **Boyer, C., Vichot, L., Fromm, M., Losset, Y., Tatin-Froux, F., Guétat, P., and Badot, P.M. (2009).** Tritium in plants: a recent of current knowledge. *Environ. Exp. Bot.* 67(1): 34–51.
31. **Branlard G. & Dardevet M., (1985).** Diversity of grain proteins and bread wheat quality. I. Correlation between gliadin bands and flour quality characteristics. *J. Cereal Sci.*, 3: 329-343.
32. **Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F., Gourdon, J., (2001).** Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica*. 119, 5967.
33. **Brody, A.L. and Labuza, T.P. (2014).** MIT Food Technology: The major driver for food technology for 50 years. *J. Food Sci.* 79, IV–V.
34. **Brouns, F J.P.H; Van Buul, V.J and P. R. Shewry. (2013).** Does wheat make us fat and sick? *J of Cereal Sci.* 1-7.
35. **Bruhn, C.M. (2017).** History of food irradiation. (En ligne). <https://ccr.ucdavis.edu/food-irradiation/history-food-irradiation> (Consulté en Février 2018).
36. **Buré J., (1997).** La pâte de farine de froment, la chimie du blé. Collection réalisée par PROMO-ENSIA.
37. **Bushuk W., (1986).** Wheat: chemistry and uses. *Cereal Foods World*, 31, (3): 218-226.
38. **Cardello, A.V. (2003).** Consumer concerns and expectations about novel food processing technologies: Effects on product liking. *Appetite*, 40, 217–233.
39. **Caulfield, C.D; Cassidy, J.P and J.P Kelly. (2008).** Effects of Gamma Irradiation and Pasteurization on the Nutritive Composition of Commercially Available Animal Diets. *J Am Assoc Lab Anim Sci.* 47(6): 61–66.

40. **Chahredine, S et Benderradji, L. (2019).** Évaluation du progrès génétique de quinze variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) cultivées en Algérie. *Agri Forest J.* 3(1) 1522.
41. **Charbach, M. (1996).** Effet de l'ionisations sur la croissance et la qualité de quelques produits agricoles. Technologie d'ionisation dans l'alimentation et l'agriculture, pp :145161. Organisation Arabe du Développement agricole - comité Arabe de l'Energie Atomique - Egypte.
42. **Chaudhary, R.K. (1983).** A note effect of gamma irradiation in wheat. *Wheat inform Sci.* 57 :21-23.
43. **Chene C., (2004).** Les amidons. Dossier technique Agro-Jonction N°34. *J de l'ADRIANOR*, 8p.
44. **Chene, C. (2001).** La farine (2^{ème} partie). *J. de l'ADRIANOR*. 12p.
45. **Christian, A.H.M. T.; Patricia, Y.I; Vanessa B. V.and, Nelida L.D.M. (2011).** Gamma radiation influence on technological characteristics of wheat flour. *Rad Phys and Chem.* 81, 11-60.
46. **Codex Alimentarius, FAO/WHO. (2003) a.** General Standard for Irradiated Foods; CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003; Codex Alimentarius Commission: Rome, Italy.
47. **Codex Alimentarius, FAO/WHO. (2003) b.** General Principles of Food Hygiene; CAC/RCP 1-1969, Rev 4-2003; Codex Alimentarius Commission: Rome, Italy.
48. **Colas A. (1998).** Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. In : Les industries de première transformation des céréales Tech et Doc, Lavoisier, Paris, 590p.
49. **Crofts, A.J; Washida, H; Okita, T.W; Ogawa, M; Kumamaru, T and Satoh, H. (2004).** Targeting of proteins to endoplasmic reticulum- derived compartments in plants. The importance of RNA localization. *Plant Physiol.* 136(3), 3414-3419.
50. **Czyczylo-Mysza, I. M., Marcinska, I., Jankowicz-Cieslak, J. and Dubert, F. (2013).** The Effect of Ionizing Radiation on Vernalization, Growth and Development of Winter Wheat. *Acta Biol. Cracov. Bot.* 55 (1), 23-28.
51. **Dacosta Y. (1986).** Le gluten de blé et ses applications. A.P.R.I.A., Ed. *Techniques et Documentation Lavoisier*, 129 p.
52. **Daskalova, N and Spetsov, P. (2017).** Response to selection for winter survival and yield in different populations of synthetic hexaploid wheats (*Triticum dicoccum/Aegilops tauschii*). *J. Agr. Sci. Tech.* 19: 1161-1172

53. **Del Frate, R. et Stephan, C. (2005).** Mieux connaître la farine. Supplément technique. *Les nouvelles de la boulangerie et de la pâtisserie*. N° 85. Ed. INBP. Paris. 16p.
54. **Demirbas, A. (2005).** β -Glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. *Food Chem*, 90: 773-777.
55. **Denil, M & Lannoye, P. (2002).** Irradier nos aliments ? Non merci. Groupe des Verts. *Brochure irradiation*.1- 44.
56. **Diehl, J.F. (2002).** Food irradiation – past, present and future. *Rad Phys and Che.* 63: 211-215.
57. **Din, R; Khan, M.M; Qasim M; Jehan S, Khan, M.I. (2003).** Induced Mutability Studies in Three Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties for Some Morphological and Agronomic Characteristics. *Asian J. Plant Sci.* 2, 1179-1182.
58. **Djermoun A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Rev Nat et Technol.* 01 (6). 45-53.
59. **Dubat, A. (2004).** The importance and impact of starch damage and evaluation of measuring methods. *Cearoupe Chopin*. 40p.
60. **Dubcovsky, J., Echaide, M., Giancola, S., Rousset, M., Luo, M. C., Joppa, L. R. and Dvorak, J. (1997).** Seed-storage-protein loci in RFLP maps of diploid, tetraploid, and hexaploid wheat. *Theo and Appl Gen* 95, 1169-1180.
61. **Ducoeurjoly, P. (2010).** Aliments irradiés, ou se cachent-ils ? *Nexus*, (68), Mai-Juin. (En ligne). [https:// nexus.fr/fr/numero-papier/167-n-68-mai-juin-2010.html](https://nexus.fr/fr/numero-papier/167-n-68-mai-juin-2010.html)
62. **Durante, M., and Cucinotta, F.A. (2008).** Heavy ion carcinogenesis and human space exploration. *Nat. Rev.Cancer*, 8(6) : 465-472.
63. **Ehlermann, D.A.E. (2016).** Wholesomeness of Irradiated Food. *Radiat. Phys. Chem.* 125, 24-29.
64. **Eliasson, A. C. and Larsson, K. (1993).** Cereals in bread-making. A molecular colloidal approach. New York, NY Marcel Dekker.
65. **El-Nashaby, F.M. (1996).** The technological evaluation of irradiated wheat flour. *Arab J. Nucl. Sci. and Appl.*, 29(2), 145.
66. **FAO /AIEA. (1977).** Manual on Mutation Breeding. Second Edition. International Atomic Energy Agency. Austria. Vienna. 1977. 298pp.

67. **Favier, J. C., Feinberg M. & Ireland-Ripert J. (1995).** Répertoire Générale des Aliments. Table de composition. Ed. *Lavoisier, coll. Tec et Doc.* Paris.
68. **FDA. Food and Drug Administration. (2005).** Irradiation in the Production, Processing, and Handling of Food. *Final Rule. Fed. Regist.* 70, 48057-48073.
69. **Feillet P. (2000).** Le grain de blé (composition et utilisation), Ed. *INRA*, p57-281.
70. **Fellahi Z, Hannachi A, Ferras K, Oulmi A, Boutalbi W, Bouzerzour H and A Benmahammad. (2017).** Analysis of the phenotypic variability of twenty F3 biparental populations of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) evaluated under semi-arid environment. *J. Fundam Appl Sci*, 9(1): 102-118.
71. **Follett, P. (2014).** Phytosanitary irradiation for fresh horticultural commodities: Generic treatments, current issues, and next steps. *Stewart Postharvest Rev.* 10, 1–7.
72. **Follett, P.A. and Neven, L.G. (2006).** Current trends in quarantine entomology. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 359–385.
73. **Foyer, C. H, Decourvieres P and KJ Kunerik. (1994).** Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. *Plant Cell Environ*, 17 : 507-523.
74. **Fredot, E. (2012).** La connaissance des aliments. Ed. *Tec & Doc. Lavoisier.* 424p.
75. **Gallais, A et Bannerot, H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de sélection. Ed. *INRA.* France. 20p.
76. **Gallais, V. (2010).** L'irradiation des alimentas : Risques, évolution réglementaire et pratique. Dossier Novembre 2010. *Collectif Français contre l'irradiation des aliments.*
77. **Gallien, L. (1987).** Principes de l'ionisation. Effets physiques, chimiques et biologiques. In : Traitements ionisants et industries alimentaires3 Colloque, Fev 1987. Ed. *APRIA.* 125.
78. **Gate P., (1995).** Ecophysiologie du blé, de la plante à la culture. Ed *Lavoisier Tec et Doc*, Paris, 430 p.
79. **Gate, Ph., Bouthier, A et Moznica, M.E. (1990).** La tolérance des variétés de blé tendre d'hiver à la sécheresse. *Press agri.* 145p.
80. **Gegas, V.C., Nazari, A., Griffiths, S., Simmonds, J., Fish, L., Orford, S., Sayers, L., Doonan, J.H., Snape, J.W. (2010).** A Genetic Framework for Grain Size and Shape Variation in Wheat. *The Plant Cell*, 22: 1046-1056.
81. **Godon B. (1991).** Biotransformation des produits céréaliers. In : les industries de première transformation des céréales. Godon et Willm. *Lavoisier Tec et Doc. Apria.* Paris, 221p.

82. **Godon, B et Bérot, S. (1991).** Les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. In : Biotransformation des produits céréaliers. Ed. *Tec et doc. APRIA*. pp 9-24.
83. **Godon, B. et Loisel W. (1997).** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Collection Sciences et techniques agroalimentaires. 2^{ème} Ed. Ed. *Tec et Doc. Lavoisier*. Paris. 840p.
84. **Goodman, B.A; Deighton, N and Glidewell, S.M. (1994).** Optimization of experimental parameters for the EPR detection of cellulosic radical in irradiated foodstuffs. *Int. J.Food.Sci.* 29. 23-38.
85. **Goodman, B.A; Mc Phailand, D.B and Duthie, D.M.L. (1989).** Electron spin resonance spectroscopy of some irradiated foodstuffs. *J.Food.Sci.agri*; 47. 301-111.
86. **Gresel, E. (2000).** Les caractéristiques des blés de la récolte 1999, vues par la méthode gluten index. *Industrie des céréales.* (118) 20-27.
87. **Grover, S and Khan, A.S. (2014).** Effect of Ionizing Radiation On Some Characteristics of Seeds of Wheat. *I J of Sci & Techn Res.* 3 (4), April.
88. **Hagberg, A., and Persson, G. (1968).** Induced mutations in barley breeding. *Heredity*, 59: 396-412.
89. **Hameed, A., T. Mahmud shah, B; Manzoor Atta, M; Ahsanul haq and H, Syed. (2008).** Gamma radiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxides and protease activity, lipid per oxidation in desi and kabuli chickpea. *Pak. J. Bot.* 40 : 1033-1041.
90. **Hammad, A.A; Hassan, M.F; Abu-Shady, M. R and Soliman, S. M. (2017).** Improving Quality and Microbial Safety of Wheat Flour by Gamma Irradiation. *Arab J. Nucl. Sci. Appl*, 50 (3). 240-247.
91. **Hanafy, R.S and Akladious, S.A. (2018).** Physiological and molecular studies on the effect of gamma radiation in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L.*) plants. *J Gen Eng Biotech.* 16: 683-692.
92. **Hayashi, T; Aoki, S. (1985).** Accumulation of sucrose in gamma-irradiated sweet potato roots. *J Agric Food Chem.* 33: 14-17.
93. **Heldman, D.R. and Lund, D.B. (2010).** The Beginning, current, and future of food engineering: A perspective. In *Food Engineering Interfaces*; Springer: New York, NY, USA, 2010; pp. 3-18.

94. **Hoseney, R. C. (1994).** Principles of cereal science and technology. St. Paul, MN: Association of Cereal Chemists.
95. **Inoue, M., Hasegawa, H., and Hori, S. (1975).** Physiological and biochemical changes in gamma irradiated rice. *Radiat. Bot.* 15(4): 387–395.
96. **Irfaq, M and Nawab, K. (2001).** Effect of *Gamma Irradiation on Some Morphological Characteristics of Three Wheat (Triticum aestivum L.)* cultivars. *J. Biol Sci.* 1 (10): 935937.
97. **ITCF et ONIC. (1995).** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. Guide pratique. Institut Technique des céréales et des fourrages. (Paris). Office National Inter professionnel des céréales. (Paris). 268p.
98. **Jagetia, C.G. (2007).** Radioprotective potential of plants and herbs against the effect of ionizing radiation. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 40: 74–81.
99. **Jan S, Parween T, Siddiqi TO and na Mahmooduzzafar (2012).** Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environ. Rev.* 20: 17-39.
100. **Journal Officiel de la République Algérienne (1992).** Décret exécutif. N°91-572 du 31 Décembre 1991 relatif à la farine de panification et du pain. 43p.
101. **Junqueira-Gonçalves, M.P.; Galotto, M.J.; Valenzuela, X.; Dinten, C.M.; Aguirre, P and Miltz, J. (2011).** Perception and view of consumers on food irradiation and the Radura symbol. *Radiat. Phys. Chem.* 80, 119–122.
102. **Jyoti, P.M, Sukalyan. C.S.K; Subrata, P; Jiin-Sluh, J; Alok, C; Anindita, C and Subbas, C.S. (2009).** Effects of gamma irradiation on edible seed protein, amino acids and genomic DNA during sterilization. *Food chem.* 114: 1237-1244.
103. **Kang, I.J; Byun, M.W. (1996).** Development of modified starch by gamma irradiation. *Korean J Food Sci Technol.* 28: 514-520.
104. **Khah, M.A and R.C Verma. (2015).** Assessment of the effects of gamma radiations on various morphological and agronomic traits of common wheat (*Triticum aestivum* var. WH-147. *Eur. J. Exp. Biol.* 5(7): 6-11.
105. **Khan, M.R., Qureshi, A.S., and Hussain, S.A. (2000).** Gamma irradiation sensitivity and its modulation with gibberellic acid for seedling physiology in chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Proc of Pak Acad of Sci.* 37(2): 195–202.
106. **Khan, M; Din, M.R; Qasim, M; Jehan, S and Iqbal, M.M. (2003).** Induced mutability studies for yield and yield related characters in three wheat (*Triticum aestivum L.*) varieties. *Asian J Plant Sci.* 2 (17-24): 1183-1187.

107. **Khan, M.R., Qureshi, A.S., Syed, A.H and Ibrahim, M. (2005).** Genetic variability induced by gamma irradiation and its modulation with gibberellic acid in M2 generation of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pak. J. Bot.* 37(2): 285-292.
108. **Khattak, K.F. and Simpson, T.J. (2010).** Effect of gamma irradiation on the antimicrobial and free radical scavenging activities of Glycyrrhiza glabra root. *Rad Phy Chem.* 79: 507-512.
109. **Kim, J.H., Lee, M.H., Moon, Y.R., Kim, J.S., Wi, S.G., Kim, T.H., and Chung, B.Y. (2009).** Characterization of metabolic disturbances closely linked to the delayed senescence of Arabidopsis leaves after gamma-irradiation. *Environ. Exp. Bot.* 67(2): 363–371.
110. **Kirsch, P. (1991).** Agents utilisés. Unités. In : Ionisation des produits alimentaires ». Vasseur, J.P. Ed. *Tec & Doc. Lavoisier, APRIA.* 440p.
111. **Kim, J.H., Lee, M.H., Moon, Y.R., Kim, J.S., Wi, S.G., Kim, T.H., and Chung, B.Y. (2009).** Characterization of metabolic disturbances closely linked to the delayed senescence of Arabidopsis leaves after gamma-irradiation. *Environ. Exp. Bot.* 67(2): 363–371.
112. **Kleijer G., (2002).** Sélection des variétés de blé pour la qualité boulangère. *Revue suisse Agric.*, 34(6) : 253-259.
113. **Koxsel, M.; Sapirstein, H.D.; Celik, S. and Bushuk, W. (1998).** Effect of gammairradiation of wheat on gluten proteins. *J. Cereal Sci.*, 28 : 243.
114. **Komolprasert, V. (2007).** Packaging for foods treated with ionizing radiation. In Packaging for Non-Thermal Processing of Food, 1st ed.; Han, J.H., Ed.; *Blackwell Publishing Ltd.: Ames, IA, USA,* pp. 87–117.
115. **Kovács, E., and Keresztes, A. (2002).** Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cells. *Micron*, 33(2): 199–210.
116. **Kubba, A. J. I. (2015).** A new semidwarf cultivar “Uruq” developed from irradiated stored seeds of soft wheat cv. “Inia-66”. *Ekin J of Crop Breed and Genet.* 1-2:38-42.
117. **Kumar, A., Simons, K., Iqbal, M.J., de Jimenez, M.M., Bassi, F.M., Ghavami, F., Al-Azzam, O., Drader, T., Wang, Y., Luo, M.C., Gu, Y.Q., Denton, A., Lazo, G.R., Xu, S.S., Dvorak, J., Kianian, P.M.A. and Kianian, S.F. (2012).** Physical mapping resources for large plant genomes: radiation hybrids for wheat D-genome progenitor *Aegilops tauschii*. *BMC Genom.* 13: 597.
118. **Kumari, R., and Singh, Y. (1996).** Effect of gamma-rays and EMS on seed germination and plant survival of Pisum sativum L., and Lens culinaris Medic. *Neo Botanica*, 4(1): 25–29.

- 119. Lacroix, J.P. (1991).** Description et spécificité d'un centre d'ionisation au cobalt. In : Ionisation des aliments. Vasseur, J.P. Ed. *Tec & Doc. Lavoisier*. Paris. APRIA. 440p.
- 120. Lacroix, M. and Follett, P. (2015).** Combination irradiation treatments for food safety and phytosanitary uses. *Stewart Postharvest Rev.* 11, 1–10.
- 121. Lage, C.L.S., and Esquibel, M.A. (1995).** Role of non-enzymatic synthesis of indole3-acetic acid in the *Ipomoea batatas* L. Lam. (sweet potato) response to gamma radiation. *Arquivos de Biol Tecnol*, 38(4): 1173–1180.
- 122. Lai, D. E., Wang, M and Zhang, C. Y. (2014).** Quality Trait Variations in 60Coirradiated Wheat and High-Molecular-Weight Glutenin Subunit Mutant Identification. *Genet. Mol. Res.* 13(4): 9024-9031.
- 123. Laizier, J. (1999).** L'ionisation, une technique sûre et utile. *Rev RIA.* 587. 26-27.
- 124. Landi A., (1993).** Durum wheat, semolina and pasta quality characteristics for an Italian food compangny. Séminaire Méditerranéen, Paris, 22 : 33-39.
- 125. Lassouad-oualdi, N. (2005).** Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition. Thèse de doctorat. ENSIAA (Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires). Paris. 339p.
- 126. Lasztity R. (1984).** The chemistry of cereal proteins. CRS Press, Inc., *Boca Raton*, Florida. USA, p131-151.
- 127. Le Blanc, A. (2008).** Les caractéristiques rhéologiques des pâtes. ENSMIC. Alimentation humaine. Condensé de cours.
- 128. Lee, Y. J; Kim, S.Y; Lim, S.T; Han, S. M; Hye-Mi Kim, H. M and Il-Jun Kang, I. J. (2006).** Physicochemical Properties of Gamma-Irradiated Corn Starch (2006). *J Food Sci Nutr.* 11:146-154.
- 129. Lesage, V. (2011).** Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/ tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-isogéniques. Thèse de doctorat. Université Blaise Pascal, Auvergne, France. 236 P.
- 130. Li, J., Wan, H and Yang, W. (2014).** Synthetic Hexaploid Wheat Enhances Variation and Adaptive Evolution of Bread Wheat in Breeding Processes. *J. Syst. Evol.* 52: 735742.
- 131. Lindeboom, N; Chang, P.K and Tyler, R.T. (2004).** Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis small granule starch, a review. *Starch-Starke*, 56(3-4), 89-99.

- 132. Lineback, D. R. and Rasper, V. F. (1988).** Wheat, Chemistry and Technology. St Paul, MN: AACC.
- 133. Liu, H., Wang, Y., Xu, J., Su, T., Liu, G., and Ren, D. (2008).** Ethylene signaling is required for the acceleration of cell death induced by the activation of AtMEK5 in Arabidopsis. *Cell Res.* 18(3): 422- 432.
- 134. Lokesha, R., Vasudeva, R., Shashidhar, H.E., and Reddy, A.N.Y. (1992).** Radio sensitivity of bambusa arundinacea to gamma rays. *J. Trop. For. Sci.* 6(4): 444-450.
- 135. MacArthur, L.A and D'Appolonia, B.L. (1984).** Gamma radiation of wheat. II. Effects of low- dosage radiations on starch properties. *Cereal Chem.* 61(4): 321-326.
- 136. Machaiah, J.P., and Pednekar, M.D. (2002).** Carbohydrate composition of low dose radiation-processed legumes and reduction in flatulence factors. *Food Chem.* 79(3): 293– 301.
- 137. Mafart, P. (1991).** Génie industriel alimentaire. T1. Les procédés physiques de conservation. Ed. *Tec & Doc. Lavoisier.* Paris. APRIA. 295p.
- 138. Maherani, B; Hossain, F; Criado, P; Ben-Fadhel, Y; Salmieri, S and Lacroix, M. (2016).** World market development and consumer acceptance of irradiation technology. A Review. *Foods.* 5, 79. 1-21.
- 139. Maity, J.P., Chakraborty, A., Saha, A., Santra, S.C., and Chanda, S. (2004).** Radiation induced effects on some common storage edible seeds in India infested with surface microflora. *Radiat. Phys. Chem.* 71(5): 1065-1072.
- 140. Maity, J.P., Kar, S., Banerjee, S., Chakraborty, A., and Santra, S.C. (2009).** Effects of gamma irradiation on long-storage seeds of *Oryza sativa* (cv. 2233) and their surface infecting fungal diversity. *Radiat. Phys. Chem.* 78(11): 1006-1010.
- 141. Malik H.A. (2009).** Nutrient uptake, transport and translocation in cereals: influences of environment and farming conditions. Introductory Paper at the Faculty of Landscape Planning, *Horticulture and Agricultural Science*:1. Swedish University of Agricultural Sciences Alnarp, September 2009. 46p.
- 142. Marchenko, M.M., Bloshko, M.M., and Kostyshin, S.S. (1996).** The action of low doses of gamma irradiation on the function of the glutathione system in corn (*Zea mays* L.). *Ukr. Biokhim. Zh.* 68(2): 94–98.
- 143. Marchioni, E et Kuntz, F. (1997).** Assurance de la qualité des mesures dosimétriques dans une installation industrielle de traitements ionisants des aliments. *Ann.Fal.Exp.Chim.* 90(941).355-361.

- 144. Marcotte, M. (1989).** Consumer Acceptance of Irradiated Food; *Nordion International*. Inc.: Kanata, ON, Canada, p. 17.
- 145. Mares D., Mrva K. and Panozzo J. F., (1994).** Characterization of the high α amylase in grain of the wheat cultivar, BD159. *Australian J Agri Res*, 45, 1003-1011.
- 146. MCA. Ministère du commerce Algérien.** Statistiques du ministère du commerce, 2019. Ministère du commerce. [Algérie https://www.commerce.gov.dz/](https://www.commerce.gov.dz/) (Consulté en Juillet 2020).
- 147. Mehmetoglu, A.C and Demirkol, O. (2007).** Preferences of Turkish people for irradiated, GM or organic foods. *J. Food Agric. Environ*, 5, 74–80.
- 148. Mekkaoui, L ; Fahli, A ; Boujnah, M ; Farahat, B ; Moussaid M, et R'kiek, C. (2000).** Effet de la désinsectisation par ionisation au rayonnement gamma sur la qualité boulangère du blé tendre. *Al Awamia*, 12 (102) : 83-95.
- 149. Melki, M and Marouani, A. (2010).** Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environ Chem Lett*, 8 (4): 307-310.
- 150. Melki, M., and Dahmani, T.H. (2009).** Gamma irradiation effects on durum wheat (*Triticum durum Desf*) under various conditions. *Pak. J. Biol. Sci.* 12(23): 1531–1534.
- 151. Miller, M.W., and Miller, W.M. (1987).** Radiation hormesis in plants. *Health Phys.* 52(5): 607–616.
- 152. Moghaddam, M; Ehdaie, B and J.G Waines. (1997).** Genetic variation and interrelationships of agronomic characters in landraces of bread wheat from southeastern Iran. *Euphytica*, 95(3) : 361-369.
- 153. Mostafavi, H.A.; Mirmajlessi, S.M. and Fathollahi, H. (2012).** The potential of food irradiation: Benefits and limitations. In Trends in Vital Food and Engineering; *Eissa, A.H.A.*, Ed.; *INTECH*: Rijeka, Croatia.
- 154. Mrva K., Wallwork M. & Mares D. J., (2006).** α -Amylase and programmed cell death in aleurone of ripening wheat grains. *J Exper Bot*, 57, 877–885.
- 155. Mulla, M.Z. Bharadwaj, V.R.; Annapure U.S. and S. Rekha. (2010).** Effect of damaged starch on acrylamide formation in whole wheat flour based Indian traditional staphs, Chapattis and poorirs. *Food Chem.* 120, 805.
- 156. Muralikrishna, G. and Rao, M. V. S. S. T. S. (2007).** Cereal non-cellulosic polysaccharides: Structure and function relationship - An overview. *Crit Rev in Food Sci and Nut*, 47, 599-610.

- 157. Nayeem, K.A., Devokule, S.N and Bhagwat, S.G. (1999).** Seed protein variations in radiation induced mutants of wheat. *J. Genet and Plant Breeding*. 59 (8): 371-373.
- 158. Olson, D.G. (1998).** Scientific Status Summary Irradiation of Food—A Publication of The Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety and Nutrition. *Food Technol.*
- 159. Osama, M.S. (2002).** Molecular genetic studies on irradiated wheat plants. Ph.D. Thesis, Department of genetics, Faculty of Agriculture Ain Shams University.
- 160. Paillard, G ; Roussel, P et Chiron, H. (2002).** Les pains Français. *Maé-Erti éditeurs. J. Abecassis, INRA.* 433p.
- 161. Parker, R. and Ring, S. G. (2001).** Aspects of the Physical Chemistry of Starch. *J. of Cereal Sc.* 34, 1-17.
- 162. Patil, B.S.; Pike and L.M. and Howard, L.R. (1999).** Effect of gamma irradiation on quercetin on onion. *Subtrop. Plant Sci*, 51, 16–22.
- 163. Payne P. I., Nightingale M. A., Krattiger A F. & Holt L. M., (1987).** The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British grown. *J.Sci.Food.Agri.* 40: 51-65.
- 164. Perten H., (1989).** Gluten index : une méthode rapide pour la mesure des caractéristiques du gluten humide. *Industrie des Céréales*, 61 : 25-29.
- 165. Perten H., (1990).** Rapid measurement of wet gluten quality by the gluten index, *Cereal Foods World* 35 (4): 401–402.
- 166. Preuss, S.B., and Britt, A.B. (2003).** A DNA-damage-induced cell cycle checkpoint in *Arabidopsis*. *Genetics*, 164: 323–334.
- 167. Qin, H.L., Wang, Y.G., Xue, J.M., Miao, Q., Ma, L., Mei, T., Zhang, W.M., Guo, W., Wang, J.Y., and Gu, H.Y. (2007).** Biological effects of protons targeted to different ranges in *Arabidopsis* seeds. *Int. J.Radiat. Biol.* 83(5): 301–308.
- 168. Qui, X., Wang, F., Wang, X., Zhou, G., and Li, Z. (2000).** Effect of combined treatment of ⁶⁰Co g-ray and EMS on antioxidase activity and ODAP content in *Lathyrus sativus*. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 11(6): 957–958.
- 169. Raffi, J. (1995).** Le traitement ionisant des aliments ; *Rev IAA. Avr*, 330-334.
- 170. Raffi, J. (1999).** Le traitement ionisant des aliments ; *Rev IAA. Avr*, 71-75.

- 171. Rahimi, M. M and Bahrani, A. (2011).** Influence of Gamma Irradiation on Some Physiological Characteristics and Grain Protein in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *World Appl. Sci. J.* 15 (5): 654-659.
- 172. Ramachandran, M and Goud, J.V. (1983).** Mutagenesis in safflower (*Carthamus tinctorius*). Differential radio sensitivity. *Genetic Agraria.* 37: 309 18.
- 173. Rashed, M.A., Fahmy, E.M., and Sallam, M.A. (1994).** Embryo culture, protein and isozyme electrophoresis as selectable markers to predict salt tolerance in wheat. In 5th Conf. Agricultural Development Research Faculty of Agriculture, Ain Shams Univ. Cairo, Egypt Volum 1, pp 469–49.
- 174. Resurreccion, A.V.A.; Galvez, F.C.F.; Fletcher, S.M and Misra, S.K. (1995).** Consumer attitudes toward irradiated food: Results of a new study. *J. Food Protect.* 58, 193–196.
- 175. Roberts, P.B. (2016).** Food Irradiation: Standards, Regulations and World-Wide Trade. *Radiat. Phys. Chem.* 129, 30–34.
- 176. Roux, J.L. (1994).** Conserver les aliments - Comparaison des méthodes et des technologies. Ed. *Technique et Documentation, Lavoisier*, 286-333 p. Paris.
- 177. Ruibal-Mendieta, N. L., Rozenberg, R., Delacroix, D. L., Petitjean, G., Dekeyser, A., Baccelli, C., Marques, C., Delzenne, N. M., Meurens, M. and Habib-Jiwan, J.L. (2004).** Spelt (*Triticum spelta* L.) and winter wheat (*triticum aestivum* l.) wholemeals have similar sterol profiles, as determined by quantitative liquid chromatography and mass spectrometry analysis. *J of Agrl and Food Chem.* 52, 4802-4807.
- 178. Saint-Lebe, L ; Buscarlet, L.A; Hennon, Y et Raffi, J. (1986).** Limites de l'ionisation des denrées. *Sci.Aliments.* 6. N° hors-série VI, 1896200.
- 179. Sakr, N et Hajj Moussa, E. (2007).** Comparaison de la qualité des blés libanais à celle des variétés importées de l'étranger et destinées à la préparation du pain libanais. *Lebanese Sci J.* 8, 87-103.
- 180. Sassi, K. (2008).** Contribution à l'adaptation des cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'agriculture biologique : rendement en grains, stabilité et qualité technologique et nutritionnelle. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut National Agronomique de Tunisie. Carthage. Tunisie. 171p.
- 181. Saus, M. (2009).** Advanced read and astry: a professional approach. *Delmar Cengage Learning*, 54.
- 182. Shewry P., Tatham A. S., Forde J., Kreis M. & Miflin B. J. (1986).** The classification and nomenclature of wheat gluten proteins. A reassessment. *J. Cereal Sci.*, 4: 97-106.

- 183. Simon, S. (2010).** L'irradiation des alimentas : Aliments irradiés, avons-nous demain le choix ? Dossier Novembre 2010. *Collectif Français contre l'irradiation des aliments*.
- 185. Singh, B., and Datta, P.S. (2010).** Gamma irradiation to improve plant vigour, grain development, and yield attributes of wheat. *Radiat. Phys. Chem.* 79(2) :139-143.
- 186. Soika, C & Delincée, H. (2000).** Thermoluminescence analysis for detection of irradiated food. Luminescence characteristics of minerals for different types of radiation doses. *Lebenseem. Wiss.u.Technol.* 33, 430-439.
- 187. Soliman, S. M. (2004).** Microbiological, technological and chemical studies on some irradiated cereals. Ph.D. Thesis, Microbiology Department, Faculty of Science, Ain Shams University.
- 188. Soltner, D., (2005).** La base de la production végétale Tom I. Le sol et son amélioration 24ème Ed. *Collection Science et Technique Agricole.* 472P.
- 189. Southgate, D. A. T. (1991).** Determination of Food Carbohydrates. *Elsevier Applied Science*, London. pp 109-112.
- 190. Strasser, A. (1997).** Sources d'ionisation et caractérisation d'un traitement ionisant. *Ann.Fal.Exp.Chim.* 90(941), 299-307.
- 191. Thapa, C.B. (1999).** Effect of acute exposure of gamma rays on seed germination of *Pinus Botanica Orientalis*. *J. Plan. Sci.* 2: 120–121.
- 192. Tohver M., Kann A., Täht R., Mihhalevski A. & Hakman J., (2005).** Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. *Food Chemistry*, 89, 125–132.
- 193. Ugrinovits M.S., Arrigoni E., Dossenbach A., Haberli G., Hanich H., J. Schwerzenbach J., Richemont L., Rychener M., Thormann H., Stalder U. (2004).** Céréales, produits de l'industrie meunière, pré mélanges pour four, mélanges de farines instantanées. Manuel suisse des denrées alimentaires. Chapitre, 14. p19.
- 194. Ussuf, K.K., Laxmi, N.H., and Nair, P.M. (1996).** Possible role of calcium dependent protein phosphorylation in the modulation of wound induced HRGP gene activation in potatoes after gamma irradiation. *Indian J. Biochem. Biophys.* 33(6): 484–490.
- 195. Wi, S.G., Chung, B.Y., Kim, J.H., Baek, M.H., Yang, D.H., Lee, J.-W., and Kim, J.-S. (2005).** Ultrastructural changes of cell organelles in Arabidopsis stem after gamma irradiation. *J. Plant Biol.* 48(2): 195–200.
- 196. Wi, S.G., Chung, B.Y., Kim, J.S., Kim, J.H., Baek, M.H., Lee, J.W., and Kim, Y.S. (2007).** Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron*, 38(6):553–564.

197. Williams, P.; Jaby El-Haramein, F.; Nakkoul, H. et Rihawi, H. (1988). Crop quality evaluation. Methods and guidelines. International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.
198. Yoko, K., Aya, M., Hiromi, I., Takashi, Y., and Kukio, S. (1996). Effect of gammairradiation on cereal DNA investigated by pulsed-field gel electrophoresis. *ShokuhinShosha*. 31: 8–15.

Sites internet

<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/> (Consulté en Mai 2021)

<https://fr.statista.com/statistiques/559831/principaux-pays-producteurs-de-ble-dans-le-monde/>
(Consulté en Mai 2021)

<http://www.fao.org/gIEWS/countrybrief/country.jsp?code=DZA&lang=fr> (Consulté Mai, 2021)

<http://www.wheatbp.net/> (Consulté en Novembre 2021)

https://www.researchgate.net/figure/Les-stades-de-developpement-du-ble_fig5_280804452

(Consulte Juin 2020) <https://www.nordion.com/>

(Consulté en Novembre 2021)

Annexes

**INFLUENCE DES RAYONS GAMMA SUR LES PARAMETRES
MORPHOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES DE SEMENCES D'UNE
VARIETE DE BLE TENDRE CULTIVEE EN ALGERIE**

**Fernane-Meliani S^{1,2}, Abdellaoui Z²,
Akretche-Kelfat S^{1,3}, Brahmi F⁴ et B Ancer¹**

[Author requested not to include photo]

Auteur correspondant: fernanesamia@yahoo.fr

¹École Nationale Supérieure Agronomique, Département des sciences alimentaires, Hassan Badi 16 200, Alger, Algérie

²Université Saad Dahleb, Blida 1. Département d'Agroalimentaire. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Blida, 09000, Algérie

³Laboratoire des sciences de génie des procédés industriels. Faculté de génie mécanique et génie des procédés. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Boite postale 32 El Alia, 16111 Bab Ezzouar, Algérie

⁴Université Abderrahmane Mira. Béjaia. Département des Sciences Alimentaires. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Laboratoire de Biophysique, Biochimie, Biomathématique et Scientométrie (3BS), Algérie



RESUME

L'objectif de cette étude était de déterminer les effets de diverses doses de rayons gamma sur les paramètres morphologiques et agronomiques de semences de blé (Anza). L'expérimentation a été menée à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach (Alger, Algérie), sur une parcelle en bloc aléatoire complet, en évaluant la croissance et les composantes de rendement d'une culture, sur deux années consécutives, de cette variété locale de blé tendre (Anza) cultivée en Algérie. Les graines ont été irradiées avec des rayons gamma de 0,10, 0,15 et 0,20 KGy (KiLoGry), tandis que la dose de 0KGy a été retenue comme témoin. Les résultats ont montré que la germination n'a pas été affectée par l'irradiation. La hauteur de la tige la plus marquée a été donnée par le témoin pendant les deux années de culture. A la première année, la dose de 0,20KGy et le témoin ont manifesté la meilleure longueur de l'épi (8,97cm) et le plus grand nombre de pieds levés/m² a été noté à la deuxième année avec le blé traité à 0,20KGy (149). Le nombre le plus élevé d'épis /m² est obtenu par les échantillons irradiés à 0,20 KGy et le témoin a donné le plus grand nombre de grains par épi, alors qu'une amélioration de la masse de 1000 grains a été constatée à 0,20KGy. La dose de 0,20KGy a également produit le meilleur rendement en grains à la récolte des deux années (56 et 55q/ha). Il y a eu une interaction entre l'année de culture et la dose d'irradiation pour le nombre de pieds levés et le nombre d'épis/m². Les faibles doses de rayons gamma, notamment la dose de 0,20 KGy ont contribué à l'amélioration des caractéristiques morphologiques et agronomiques de la variété locale de blé tendre (Anza) cultivée en Algérie, à savoir : la longueur de l'épi, le nombre de pieds levés et d'épis/m², la masse de 1000 grains et le rendement en grains.

Mots clés: Croissance, grains de blé, irradiation, gamma, doses, morphologie, rendement



INFLUENCE OF GAMMA RAYS ON THE MORPHOLOGICAL AND AGRONOMICAL PARAMETERS OF SEEDS OF A COMMON WHEAT VARIETY GROWN IN ALGERIA

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the effect of different doses of gamma rays on morphological and agronomical parameters of wheat seeds (Anza). The experiment was conducted in the experimental station of the National School of Agricultural Sciences, El Harrach, Algiers (Algeria). The wheat crop was carried out on a plot in complete random block, by evaluating the growth and yield components of a crop, over two consecutive years, of this common wheat variety (Anza) grown in Algeria. Seeds samples were irradiated with low doses of gamma rays at 0.10, 0.15 and 0.20 KGy (KiloGry), while 0KGy dose was used as a control. The results showed that the number of germinated seeds was not affected by the irradiation treatment. The highest stem height was given by the control in both years, whereas in the first crop year, the 0.20KGy dose with the control showed the best spike length (8.97cm). In the second year, the highest number of raised feet/m² was recorded with wheat at 0.20KGy (149). The evolution of yield components according to irradiation doses revealed that the highest number of spikes/m² was also obtained from samples irradiated at 0.20KGy, the control gave the highest number of seeds by spike, while an improvement in 1000 grain weight was seen at 0.20KGy in both crops. The 0.20KGy dose also produced the highest grain yield at harvest of the two years (56 and 55q/ha). There was an interaction between the crop year and the radiation dose for the number of raised feet and the number of spikes/m². The low gamma ray doses, particularly 0.20 KGy dose, contributed to the improvement of the morphological and agronomical properties of the local common wheat (Anza) grown in Algeria, including spike length, number of raised feet and spikes/m², 1000 grain weight and grain yield.

Key words: Growth, wheat seeds, irradiation, gamma, doses, morphology, yield



INTRODUCTION

Les céréales et leurs dérivés constituent la base de la consommation alimentaire en Algérie, leur disponibilité est assurée principalement par les importations. En effet et selon les statistiques du ministère algérien du commerce, les importations des céréales ont représenté 34,15% de la facture globale des importations pour l'année 2019 [1], bien que des programmes de relance de l'agriculture des céréales, notamment du blé, ont été lancés depuis plus d'une décennie.

Néanmoins, le blé et les plantes en général, sont souvent confrontées au défi de plusieurs conditions environnementales qui entraînent des effets néfastes sur leur croissance, telles que la sécheresse, la salinité, les pesticides les nuisibles et les basses températures [2], ce qui provoque des pertes énormes. Plusieurs techniques sont appliquées pour y remédier. Dans ce contexte, l'irradiation, inactive efficacement les agents pathogènes dans les semences contaminées, par le blocage de la reproduction des insectes et la désactivation des bactéries, des spores et des moisissures [3]. La Food Drug and Administration (l'administration américaine des denrées alimentaires et des médicaments) a approuvé l'utilisation des rayonnements ionisants pour contrôler les contaminants microbiens des grains [4].

En outre, l'irradiation des grains de blé aux rayons gamma peut provoquer des changements qui permettront aux phytogénéticiens de sélectionner des génotypes en améliorant leurs caractéristiques physiologiques dont la précocité, la tolérance à la salinité, le rendement en grains et la qualité [5]. Ces rayons sont considérés comme l'un des mutagènes physiques imposant des effets considérables sur les processus physiologiques et biochimiques des plantes [6].

La technique de la conservation par irradiation aux rayons gamma contribue aussi à l'amélioration du blé par l'augmentation du nombre et de la taille des grains, ce qui continue d'être l'objectif majeur de la sélection du blé, en raison de leur effet sur le rendement [7].

Compte tenu des effets des radiations sur les plantes. Cette étude a été menée dans le but de rechercher l'influence des rayons gamma à faibles doses sur certains paramètres morphologiques et agronomiques d'une variété de blé tendre cultivée en Algérie, afin de contribuer à l'amélioration de sa qualité et de son rendement.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal et traitement

L'étude a été menée à la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach (Alger, Algérie), sur une variété locale de blé tendre (Anza) cultivée en Algérie et provenant de l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures, Alger). Cette variété est parmi l'une des plus cultivées en Algérie avec des rendements annuels satisfaisants, et dont les caractéristiques rapportées par Boufenar-Zaghouane et Zaghouane [8] sont citées dans le Tableau 1. Les grains ont subi un nettoyage manuel et répartis en trois lots contenant chacun trois sacs de 500g. Ils ont été soumis à une irradiation, avec une source de Cobalt 60 (activité : 17500 curies, débit de dose : $18 \pm 0,5$ Gy/mn) au Centre de Recherches Nucléaires d'Alger (CRNA).



Dispositif expérimental

L'expérimentation a été menée en bloc aléatoire complet selon le protocole établi par [9], d'une superficie de 165 m² sur deux saisons agricoles successives, 2013-2014 et 2014-2015 s'étalant de Décembre à Juin. Le sol est de type limoneux-argileux. Le dispositif expérimental comptait quatre répétitions comprenant les trois doses d'irradiation et le témoin. Chaque bloc est divisé en quatre parcelles (figure 1) semées en Décembre, après avoir réalisé au laboratoire un test de germination sur 20 graines provenant de chaque lot. Le comptage des graines est effectué quotidiennement, pendant 5 jours. Des traitements phytosanitaires comptant des pesticides et herbicides, ainsi que divers amendements ont été apportés (Tableau 2) avec des compléments d'irrigation. Les conditions climatiques pendant les deux années de culture étaient très rapprochées avec comme exemple une pluviométrie maximale de 79,3mm enregistrée en Décembre, accompagnée d'une humidité de 91,3% et d'une température moyenne de 12,7°. Le cumul pluviométrique enregistré était respectivement de 283,6mm et 294mm, durant la première et la deuxième campagne. La récolte a été effectuée manuellement en Juin.

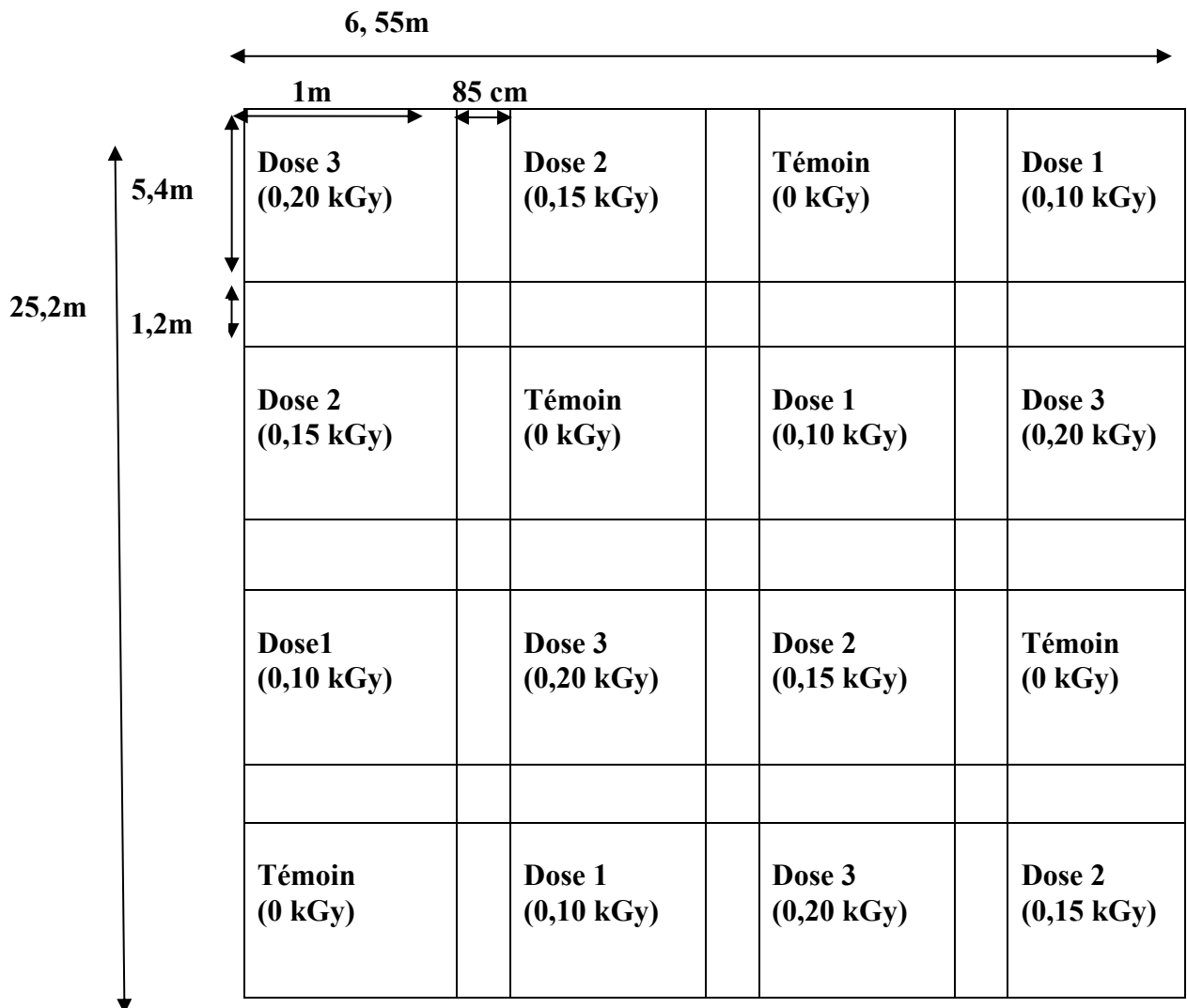


Figure 1: Schéma cultural adopté

Paramètres mesurés

Pour l'évaluation des paramètres physiologiques, dix plants de chaque sous-parcelle sont sélectionnés au hasard. Les caractéristiques morphologiques mesurées sont la hauteur de la tige (cm), la longueur de l'épi (cm) et le nombre de pieds levés/m². À maturité, une évaluation des composantes de rendement est réalisée en mesurant le nombre d'épis/m², le nombre de grains /épi et la masse de 1000 grains (g) avec une estimation du rendement en grains par la mesure de leur masse rapportée à la surface en hectare, selon la formule:

Rendement en grains = Masse totale des grains récoltés/unité de surface.

Analyse statistique

L'ANOVA a été adoptée pour déterminer les différences entre les traitements (STATISTICA version 6) en utilisant l'analyse factorielle. L'année de culture et la dose d'irradiation ont été considérées comme des facteurs fixes. Le test NEWMAN-KEULS à P < 0,05, a été utilisé pour identifier des traitements significativement différents.

RESULTATS ET DISCUSSION

Germination

La figure (2) montre que les doses d'irradiation appliquées n'ont pas influé sur le nombre de grains germés pour les deux années de culture. La germination atteint les 100% (les 20 grains ont tous germés) au troisième jour pour l'échantillon témoin, et à partir du quatrième pour les autres échantillons irradiés. Néanmoins, l'analyse de la variance a montré une différence significative entre les échantillons irradiés et le témoin (P < 0,05) pour le deuxième jour de germination où la dose d'irradiation a diminué le nombre de grains germés. Ce qui laisse dire que l'irradiation pourrait retarder la levée.

La dose maximale appliquée de 0,20KGy n'est pas assez élevée pour inhiber la germination. Les résultats de Melki et Marouani [10], révèlent que les grains de blés irradiés à de faibles doses de 10 à 30 Gy, gardent leur pouvoir germinatif intact. Plusieurs auteurs ont confirmé que la dose de 1,5 kGy est la limite maximale tolérée afin de ne pas inhiber la germination. Daskalova et Spetsov [7] n'ont remarqué aucune différence significative entre les échantillons de blé irradiés à 1,5 KGy et leurs témoins respectifs. Jan *et al.* [11] notent que cela se produisait une fois que les semences étaient soumises à de faibles doses d'irradiation. La germination est réduite avec la durée de stockage du blé et les doses de rayonnement les plus élevées [12].

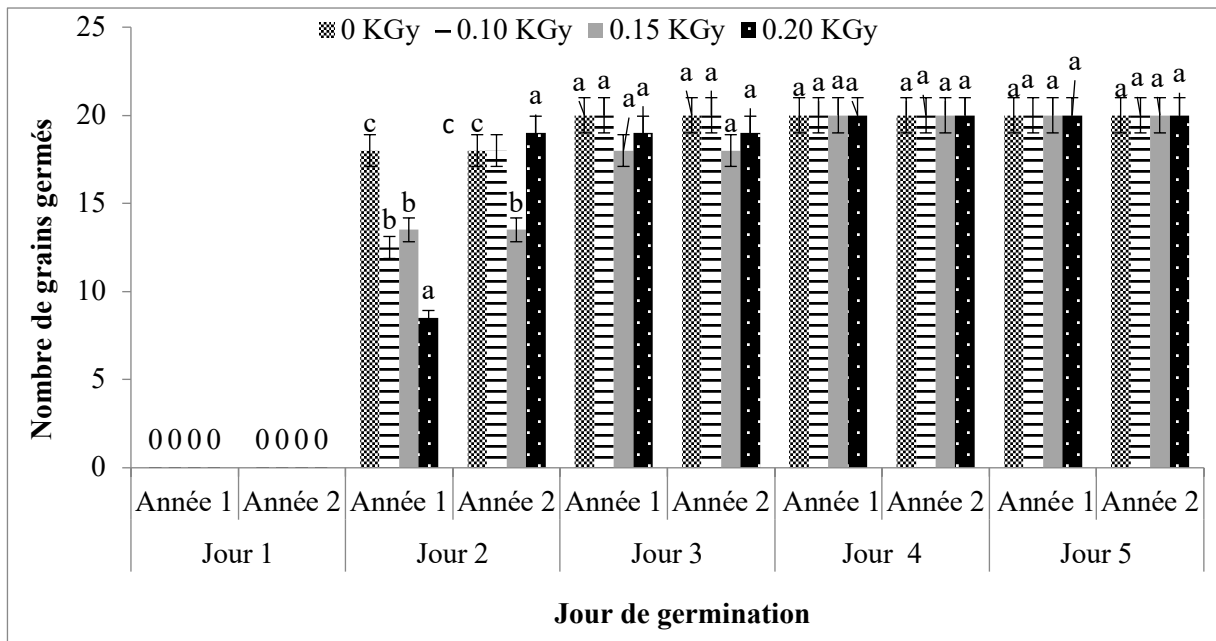


Figure 2 : Influence des rayonnements gamma sur la germination des grains

Caractères morphologiques

L'analyse de la variance des différents aspects morphologiques est donnée par les Tableaux 3, 4 et 5, elle a révélé des différences significatives ($P < 0,05$) de la hauteur de la tige dans la première année et non significatives dans la seconde ($P > 0,05$). La première année, les tiges du témoin et des échantillons traités à 0,10 ont été caractérisées par les plus importantes hauteurs. A la deuxième année, une amélioration de la taille des plants pour l'échantillon traité à 0,20 kGy (77,25 cm) est remarquée. La longueur moyenne de l'épi n'a pas varié significativement d'une dose à une autre ($p > 0,05$) dans les deux années. Le témoin et les échantillons irradiés à 0,20 KGy ont donné la première année la meilleure longueur (8,97 cm). Le nombre de pieds levés/m² est significatif ($p < 0,05$) pour les deux campagnes. Le plus élevé a été observé respectivement à 0,10 KGy (388) et à 0,20 KGy (149) à la première et la deuxième année, et une interaction significative ($P < 0,0001$) entre l'année de culture et les doses d'irradiation a été notée (Tableau 5).

Une légère diminution dans les valeurs des hauteurs de la tige et de la longueur des épis a été enregistrée à certaines doses et une amélioration est notée pour d'autres. Cela pourrait être expliqué par le fait que les doses de rayonnement appliquées exercent différemment leur effet sur les échantillons irradiés et que la réponse est différente d'un échantillon à l'autre. Ahmed *et al.* [13] ont apporté que la hauteur moyenne des tiges a montré une diminution chez des graines de blé traitées aux fortes doses de 4,5 KGy. Abou-Zeid et Abdel-Latif [14] ont remarqué que la dose de 1 KGy améliorait les paramètres de croissance du blé tendre, notamment la longueur de l'épi, l'effet de dose était significatif sur ce paramètre, d'autre part, ils soulignent que la réduction significative des paramètres de croissance du blé sous des doses plus élevées (5KGy), pourrait être lié à l'effet délétère des fortes doses des rayons gamma sur la structure cellulaire et les réactions biochimiques.

Les doses gamma ont eu un effet stimulant sur le nombre de pieds levés. Irfak et Nawab [15] ont également observé cet effet sur trois variétés de blé tendre irradiées avec des doses de rayons gamma de 1, 2, 3 et 4 kGy. Cependant, Din *et al.* [16] ont obtenu des résultats opposés en indiquant un effet négatif de la dose de 1,5 kGy sur le nombre de pieds levés dans la génération M1 de différents génotypes de blé.

Caractères agronomiques et composantes de rendement

L'Anova a montré un effet significatif de la dose d'irradiation sur le peuplement d'épis par m² ($P < 0,05$). Le Tableau 4 montre que le nombre d'épis/m² est plus élevé à la dose de 0,20 kGy pendant les deux campagnes. Une interaction significative année de culture et dose d'irradiation à $p < 0,0001$ est observée (Tableau 5). Le nombre de grains par épi le plus important est enregistré chez les échantillons témoins avec des différences non significatives ($P > 0,05$). Des valeurs élevées (24,7g) de la masse de 1000 grains sont notées à 0,20 KGy et les variations ne sont pas significatives ($P > 0,05$). Le rendement en grains a significativement ($P < 0,05$) varié avec les doses d'irradiation. Les deux récoltes ont également donné le meilleur rendement (56 et 55q/ha) à la dose de 0,20 KGy.

Une variation du nombre d'épis /m² et du nombre de grains/épi a été observée. L'effet de l'irradiation gamma à faibles doses sur la stimulation de la croissance et des composantes de rendement du blé a été signalé dans plusieurs études. Khah et Verma [4], dans leur recherche réalisée sur du blé tendre irradié au rayons gamma à 0,5, 1, 1,5, 2 et 3 KGy ont constaté une diminution constante du nombre d'épis par mètre carré en fonction des doses, à l'exception de la dose la plus faible (0,5 KGy).

Dans cette étude, la masse de 1000 grains la plus élevée est enregistrée à la dose de 0,20KGy et une élévation du rendement en grains a été constatée aux doses utilisées. Grover et Sardar [17] ont également noté une augmentation de ce paramètre dans du blé irradié à des doses de 0,1 à 0,25 KGy, ainsi que Javed *et al.* [18] qui ont noté une augmentation du rendement d'un blé irradié à des doses relativement faibles. De même, et parmi les cinq doses appliquées par Rahimi et Bahrani [19] sur deux variétés de blé tendre, la dose de 25 Gy a donné le rendement le plus élevé. Il a été démontré qu'à de fortes doses de rayonnement, une accumulation accrue des radicaux super oxydes et du dimalonaldéhyde s'installe, révélant la production d'espèces réactives oxygénées et toxiques qui exercent un effet inhibiteur des réactions biochimiques et qui détruisent l'intégrité de la membrane plasmique [20].

CONCLUSION

Des semences d'une variété de blé tendre « Anza » cultivée en Algérie ont été irradiées à de faibles doses de rayons gamma (0,10, 0,15 et 0,20KGy) et une culture a été conduite sur deux années consécutives en milieu expérimental. Les résultats obtenus ont montré que les doses d'irradiation appliquées et notamment celle de 0,20 KGy ont contribué à améliorer les propriétés morphologiques et agronomiques de la variété « Anza ».



Cette étude confirme que ces doses sont favorables à cette variété de blé tendre. Il serait utile de les utiliser en agriculture, en vue de son amélioration. D'autant plus que l'effet de la dose dépend aussi des conditions agronomiques et climatiques, qui déterminent la composition du grain, ce qui va avoir un impact sur la réponse du blé aux rayons gamma. De plus, l'irradiation des graines avant le semis est l'une des méthodes les plus efficaces pour améliorer la production végétale, les composantes du rendement et la composition chimique du blé.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont reconnaissants à Khawla Debbah, Nesrine Lekhal et Hassina Nader de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de l'Agroalimentaire. Université de Blida (Algérie), avec le Centre de Recherches Nucléaires (Alger) et la minoterie (SIM) de Blida (Algérie), pour leur aide dans ce travail de recherche.



Tableau 1 : Caractéristiques de la variété (Anza)

Caractéristiques morphologiques	Compacité de l'épi : demi lâche
	Couleur de l'épi : blanc
	Hauteur de la plante à maturité : courte
Caractéristiques culturales	Alternative : hiver
	Cycle végétatif : précoce
	Tallage : fort
	Résistance au froid : résistante
	Résistance à la verse : résistante
	Résistance à la sécheresse : résistante

Tableau 2: Techniques culturales réalisées et amendements apportés pendant le cycle de développement du blé des deux années

Techniques culturales	Opérations culturales
Travail du sol	Charrue
Façons superficielles	Cover-crop
Lit de semence	Cultivateur à dents flexibles
Fumure de fond	N.P.K (15-15-15) Dose : 300kg/ha
Semis	Dose de semis=140 kg/ha
Roulage	Râteau : pour un meilleur contact grain-sol
Fertilisation minérale	Urée 1 ^{er} apport stade 3 ^{ème} feuille Dose= 45 U/ha
	Urée 2 ^{ème} apport stade plein tallage Dose= 45 U/ha
Fertilisation foliaire	Agriphos stade épiaison Dose =2,5 l/ha
Désherbage sélectif	Damine 600 stade début tallage Dose =1 l/ha
Traitements phytosanitaires	Pychlorox 1 ^{er} fois stade montaison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha
	Pychlorox 2 ^{ème} fois stade épiaison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha
	Pychlorox 3 ^{ème} fois stade floraison Dose = 175 ml/hl 1,5 l/ha

N : Azote, P : Phosphore, K : Potassium, U : Unité.

Tableau 3: Résultats de l'analyse de la variance de l'effet de la dose d'irradiation, de l'année de culture et de l'interaction entre l'année de culture et les doses d'irradiation

Caractères morphologiques NGG (Jour 2)					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	2730,063	1	2730,063	1323,667	0,000000
Année	0,062	1	0,030	0,030	0,866129
Dose d'irradiation	184,188	3	29,768	29,768	0,000109
Année*Dose d'irradiation	0,187	3	0,030	0,030	0,992341
NGG (Jour3)					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	6006,250	1	6006,250	28,26	0,000000
Année	0,000	1	0,000	0,000	1,000000
Dose d'irradiation	6,250		2,083	0,980	0,448866
Année*Dose d'irradiation	4,500	3	1,500	0,706	0,574878
HT					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	899998,50	1	899998,50	21039,52	0,000000
Année	142,50	1	142,50	33,31	0,000418
Dose d'irradiation	56,51	3	18,84	4,40	0,041570
Année*Dose d'irradiation	25,51	3	8,49	1,98	0,194996
LE					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	1200,103	1	2200,103	4002,928	0,000000
Année	0,668	1	0,668	2,229	0,173780
Dose d'irradiation	0,606	3	0,202	0,674	0,591938
Année*Dose d'irradiation	0,797	3	0,266	0,887	0,488189
NPL/m₂					
Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	953552,3	1	953552,3	146700,3	0,000000
Année	170156,2	1	170156,2	26177,9	0,000000
Dose d'irradiation	2658,8	3	886,3	136,3	0,000000
Année*Dose d'irradiation	6062,8	3	2020,9	310,9	0,000000

**Caractères
agronomiques****NE/m₂**

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	4921742	1	4921742	193009,5	0,000000
Année	1892	1	1892	74,2	0,000026
Dose d'irradiation	18493	3	6164	241,7	0,000000
Année*Dose d'irradiation	5807	3	1936	75,9	0,000003

NG/épi

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	26732,25	1	26732,25	534,6450	0,000000
Année	2,25	1	2,25	0,0450	0,837309
Dose d'irradiation	78,75	3	26,25	0,5250	0,677240
Année*Dose d'irradiation	56,75	3	18,92	0,3783	0,771348

MMG

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	8934,030	1	8934,030	117,875	0,000000
Année	0,102	1	0,102	0,036	0,912666
Dose d'irradiation	28,361	3	9,454	1,183	0,375563
Année*Dose d'irradiation	20,650	3	6,883	0,883	0,499433

RG

Effet	SC	DDL	MC	F	P
Ord.origine	40268,45	1	40268,45	4063,559	0,000000
Année	27,77	1	27,77	2,803	0,132645
Dose d'irradiation	428,05	3	142,68	24,398	0,001372
Année*Dose d'irradiation	4,18	3	1,39	0,141	0,932763

HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NE : nombre d'épis, NG :

nombre de grains, MMG : masse de 1000 grains, RG : rendement en grains, * P pour $P < 0.05$, * * P

pour $P < 0.001$, * * * P pour $P < 0.0001$. NS : non significatif ($p > 0.05$).



Tableau 4: Valeurs moyennes des paramètres morphologiques et agronomiques en fonction des doses d'irradiation

Année1				
Doses (KGy)	0	0,10	0,15	0,20
HT (cm)	75,56 ± 0,24 ^b	73,05 ± 0,34 ^b	72,4 ± 0,1 ^b	67,08 ± 0,3 ^a
LE (cm)	8,97 ± 0,18 ^a	8,71 ± 0,18 ^a	8,83 ± 0,20 ^a	8,97 ± 0,15 ^a
NPL/m ²	340 ± 0,7 ^b	388 ± 0,7 ^d	361 ± 1,4 ^c	301 ± 1,4 ^a
NE/m ²	535±0,3 ^b	565±0,26 ^c	476±0,22 ^a	599±0,22 ^d
NG/épi	45±0,2 ^a	40±0,2 ^a	42±0,2 ^a	35±0,2 ^a
MMG (g)	22,5±1,1 ^a	21,2±1,1 ^a	23,3±1,4 ^a	24,7±1,5 ^a
RG (q/ha)	56,3±0,1 ^b	47,3±0,3 ^a	46,2±0,4 ^a	56,2±0,5 ^b
Année2				
Doses (KGy)	0	0,10	0,15	0,20
HT (cm)	79,08 ± 0,26 ^a	78,52 ± 0,36 ^a	77,08 ± 0,27 ^a	77,25 ± 0,34 ^a
LE (cm)	8,94 ± 0,18 ^a	8,82 ± 0,16 ^a	8,04 ± 0,18 ^a	8,06 ± 0,13 ^a
NPL/m ²	148 ± 0,7 ^b	133 ± 1,4 ^a	134 ± 1,4 ^a	149 ± 1,4 ^b
NE/m ²	596 ± 0,4 ^c	536 ± 0,23 ^b	532 ± 0,25 ^a	598 ± 0,2 ^c
NG/épi	44 ± 0,2 ^a	40 ± 0,2 ^a	39 ± 0,2 ^a	42 ± 0,2 ^a
MMG (g)	23,3 ± 1,0 ^a	24,7±1,1 ^a	22,3±1,4 ^a	24,7±1,5 ^a
RG (q/ha)	53,7±0,1 ^b	44,5±0,5 ^a	42,1±0,5 ^a	55,0±0,9 ^b

HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NE : nombre d'épis,

NG : nombre de grains, MMG : masse de 1000 grains, RG : rendement en grains

^{abc} Les mêmes lettres dans les lignes ne sont pas significativement différentes à $P < 0,05$

Tableau 5: Résultats de l'analyse de la variance de l'effet de la dose d'irradiation, de l'année de culture et de l'interaction entre l'année de culture et les doses de rayonnement

Paramètre	Dose d'irradiation KGy (0,10, 0,15, 0,20)	Année de culture	Année de culture * Dose d'irradiation
NGG (Jour 2)	**	NS	NS
NGG (Jour 3)	NS	NS	NS
HT	*	**	NS
LE	NS	NS	NS
NPL/m ²	***	***	***
NE/m ²	***	***	***
NG/épi	NS	NS	NS
MMG	NS	NS	NS
RG	**	NS	NS

NGG : nombre de grains germés, HT : hauteur de la tige, LE : longueur de l'épi, NPL : nombre de pieds levés, NE : nombre d'épis, NG : nombre de grains, MMG : masse de 1000 grains, RG : rendement en grains

, **, * Significatif aux niveaux de probabilité de 0,05, 0,001 et 0,0001 respectivement, NS : non significatif ($P > 0,05$)*

REFERENCES

1. **MCA.** Statistiques du ministère du commerce, 2019. Ministère du commerce. Algérie <https://www.commerce.gov.dz> (Consulté Juillet 2020).
2. **Foyer C H, Decourvieres P and KJ KunerK** Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. *Plant Cell Environ*, 1994; **17**: 507-523.
3. **Boussaha A** L'irradiation des aliments Perspectives d'application en Algérie. Centre d'études nucléaires et solaire. Commissariat aux énergies nouvelles. 1986. 17p.
4. **Khah MA and RC Verma** Assessment of the effects of gamma radiations on various morphological and agronomic traits of common wheat (*Triticum aestivum* L.) var. WH-147. *Eur. J. Exp. Biol*, 2015; **5(7)**: 6-11.
5. **Ashraf M, Cheema AA, Rashid M and Z Qamar** Effect of gamma rays on M1 generation in Basmati rice. *Pak J Bot*, 2003; **35(5)**:791-795
6. **Heidarieh M, Borzouei A, Rajabifar S, Ziaie F and Shafiei** Effects of gamma irradiation on antioxidant activity of Ergosan. *Iran J Radiat Res*, 2012; **9**: 245-249.
7. **Daskalova N and P Spetsov** Response to selection for winter survival and yield in different populations of synthetic hexaploid wheats (*Triticum dicoccum/Aegilops tauschii*). *J. Agric. Sci. Technol*, 2017; **19**: 1161-1172.
8. **Boufenar-Zaghouane F et O Zaghouane** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC d'Alger, 2006. 1ère Ed, 152p.
9. **FAO /AIEA.** Manual on Mutation Breeding. Second Edition. International Atomic Energy Agency. Austria. Vienna. 1977. 298pp.
10. **Melki M and A Marouani** Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environ Chem Lett*, 2009; **8 (4)**: 307-310.
11. **Jan S, Parween T, Siddiqi TO and na Mahmooduzzafar** Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environ. Rev*, 2012; **20**: 17-39.
12. **Kubba AJI** A new semidwarf cultivar "Uruq" developed from irradiated stored seeds of soft wheat cv. "Inia-66". *Ekin J. Crop Breed. Genetic*, 2015; **1-2**: 38-42.
13. **Ahmed S, Khan WM, Khan MS, Akhtar N, Umar N, Ali S, Hussain S and SS Shah** Impact of gamma radiations on wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties (Batoor and Janbaz). *Pure Appl Bio*, 2017; **6**: 218-225.



14. **Abou-Zeid HM and SA Abdel-Latif** Effects of gamma irradiation on biochemical and antioxidant defense system in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Int J Adv Res*, 2014; **2(8)**: 287-300.
15. **Irfaq M and K Nawab** Effect of Gamma Irradiation on Some Morphological Characteristics of Three Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. *J. Biol. Sci*, 2001; **1(10)**: 935-937.
16. **Din R, Qasim M, Ahmad K and S Jehan** Study of days taken to earing initiation and earing completion in M1 generation of different genotypes irradiated with various doses of gamma radiation. *Asian J. Plant Sci*, 2003; **2(12)**: 894-896.
17. **Grover S and A Sardar** Effect of Ionizing Radiation on Some Characteristics of Seeds of Wheat. *Int J.Sci Technol Res*, 2014; **3**: 32-39.
18. **Javed MA, Khatri A, Khan IA, Ahmad M, Siddiqui MA and AG Arain** Utilization of gamma irradiation for the genetics improvement of oriental mustard (*Brassica juncea* Coss.). *Pak. J. Bot*, 2000; **32**: 77-83.
19. **Rahimi MM and A Bahrani** Influence of Gamma Irradiation on Some Physiological Characteristics and Grain Protein in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *World Appl. Sci. J*, 2011; **15(5)**: 654-659.
20. **Khattak KF, Simpson TJ and Ihsanullah** Effect of gamma irradiation on the extraction yield, total phenolic content and free radical-scavenging activity of *Nigella sativa* seed. *Food Chem*, 2008; **11(4)**: 967-972

Annexes

Annexe (1)

Tableau (1) : Pluviométrie mensuelle (mm) de la campagne 2013/2014

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Somme des pluies	79,3	66,6	46,7	88,0	00	03	00

(Station météorologique de l'ENSA, 2014)

Tableau (2) : Données des températures (°C) de la campagne 2013/2014

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Moyenne températures min	7,6	7,8	9,5	7,9	12,9	14,3	/
Moyenne températures max	17,8	16,9	18,6	17,6	22,1	24,3	/
Moyenne température	12,7	12,34	14	12,7	15,7	19,3	/

(Station météorologique de l'ENSA, 2014)

Tableau (3) : Données des humidités relatives (%) de la campagne 2013/2014

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Moyenne humidités min	67,6	74,0	62,4	70,5	66,7	55,7	/
Moyenne humidités max	91,3	93,8	88,6	87,4	92,0	85,7	/
Moyenne humidités	79,4	83,9	75,7	78,9	79,3	70,7	/

(Station météorologique de l'ENSA, 2014)

Tableau (4) : Pluviométrie mensuelle (mm) de la campagne 2014/2015

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Somme des pluies	80,5	69,1	52,4	90	01	01	00

(Station météorologique de l'ENSA, 2015)

Tableau (5) : Données des températures (°C) de la campagne 2014/2015

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Moyenne températures min	9,7	9,6	8,6	8,1	13,9	15,5	/
Moyenne températures max	19,6	18,8	19,4	18,7	22,1	21,3	/
Moyenne température	14,4	14,4	15	12,9	17,5	20,2	/

(Station météorologique de l'ENSA, 2015)

Tableau (6) : Données des humidités relatives (%) de la campagne 2014/2015

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Moyenne humidités min	69,8	76,2	64,6	72,7	68,6	57,3	/
Moyenne humidités max	93,5	95,9	90,7	89,3	94,1	90,5	/
Moyenne humidités	78,5	85,4	77,3	77,8	80,7	71,6	/

(Station météorologique de l'ENSA, 2015)

Annexe (2)

Matériel utilisé en expérimentation (analyses biochimique et technologique)



Figure (1) : Balance analytique
(Photo originale)



Figure (2) : Désiccateur
(Photo originale)



Figure (3) : Etuve Chopin
(Photo originale)



Figure (4) : Appareil « Infatec »
(Photo originale)



Figure (5) : Planchister pour farines

(Photo originale)



Figure (6) : Appareil « Glutork

(Photo originale)



Figure (7) : Agitateur de Zélény

(Photo originale)



Figure (8) : Appareil de Hagberg

(Photo originale)

Annexe (3)

Alvogrammes des farines du blé (Anza)

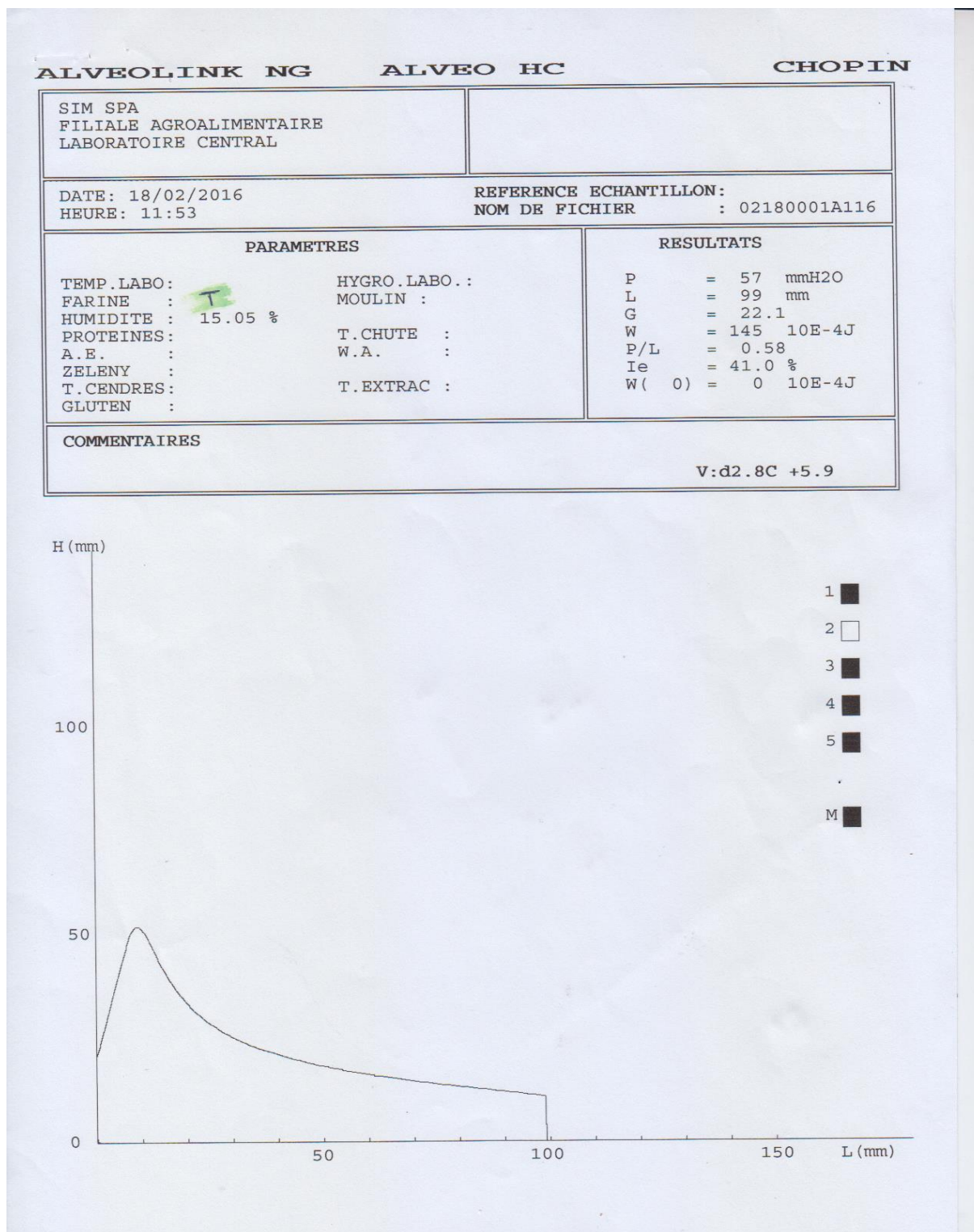


Figure (1) : Alvéogramme de l'échantillon témoin de la farine de la première année

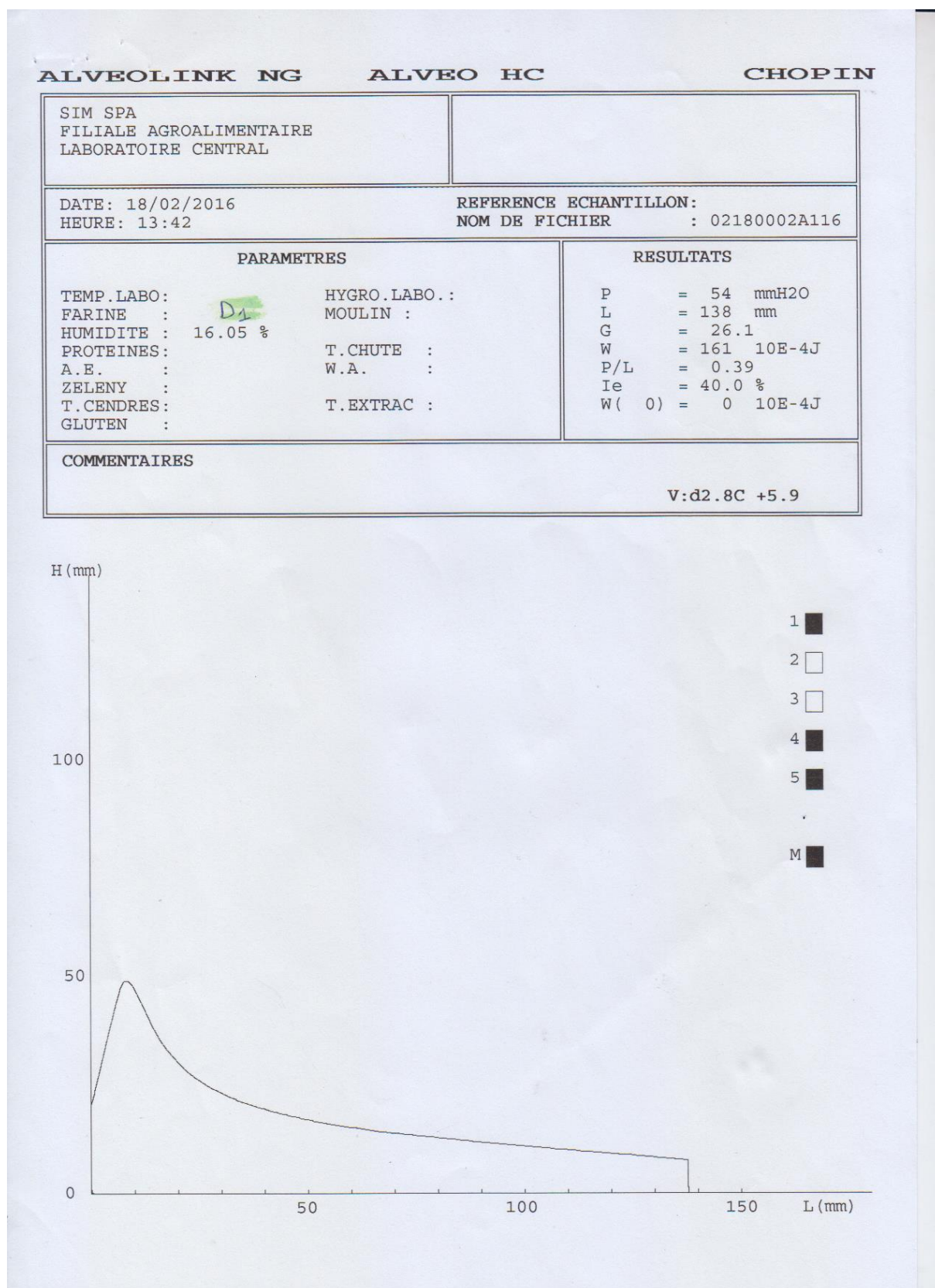


Figure (2) : Alvéogramme de l'échantillon ionisé à 0,10KGy de la farine de la première année

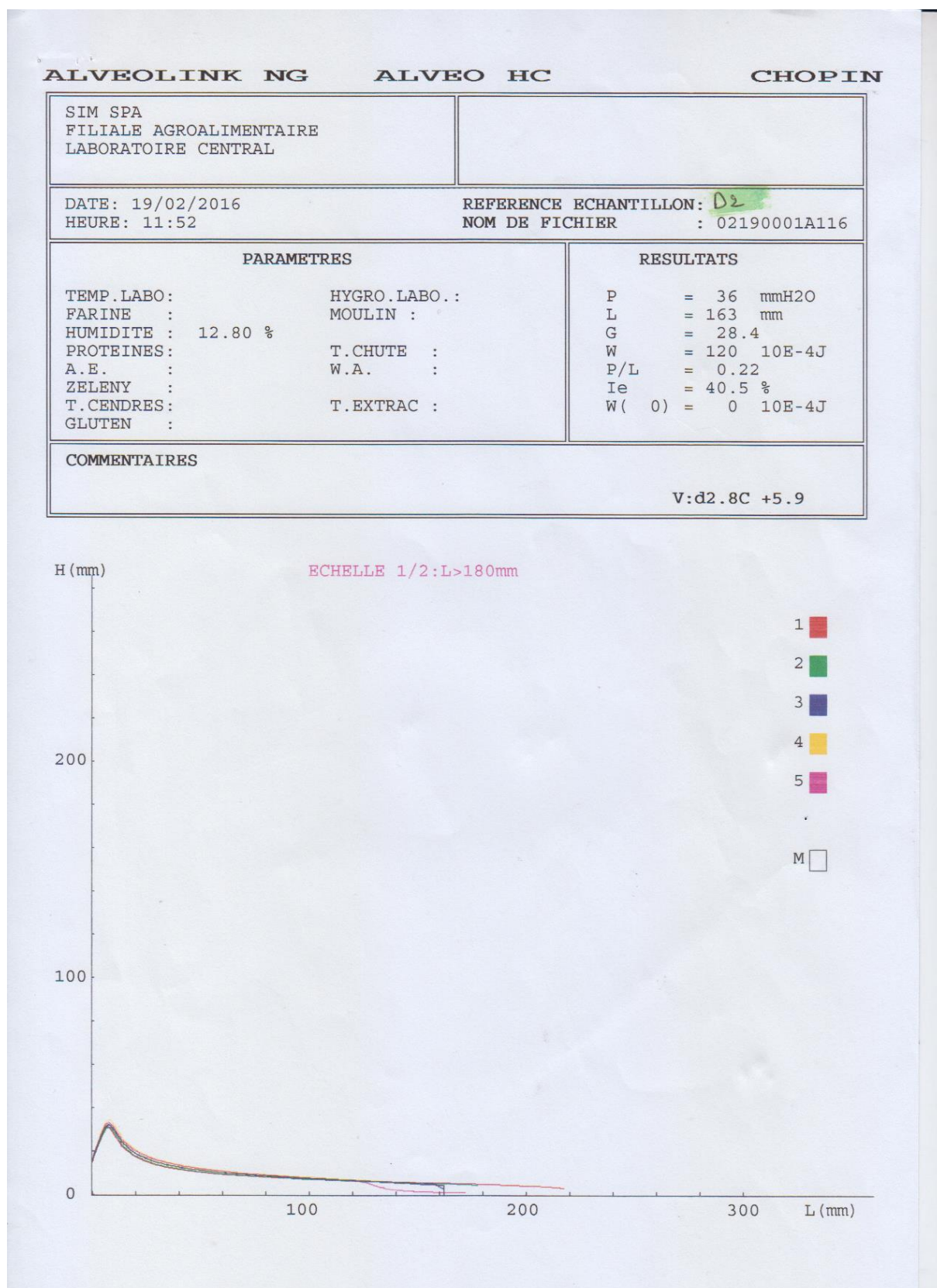


Figure (3) : Alvéogramme de l'échantillon ionisé à 0,15 KGy de la farine de la première année

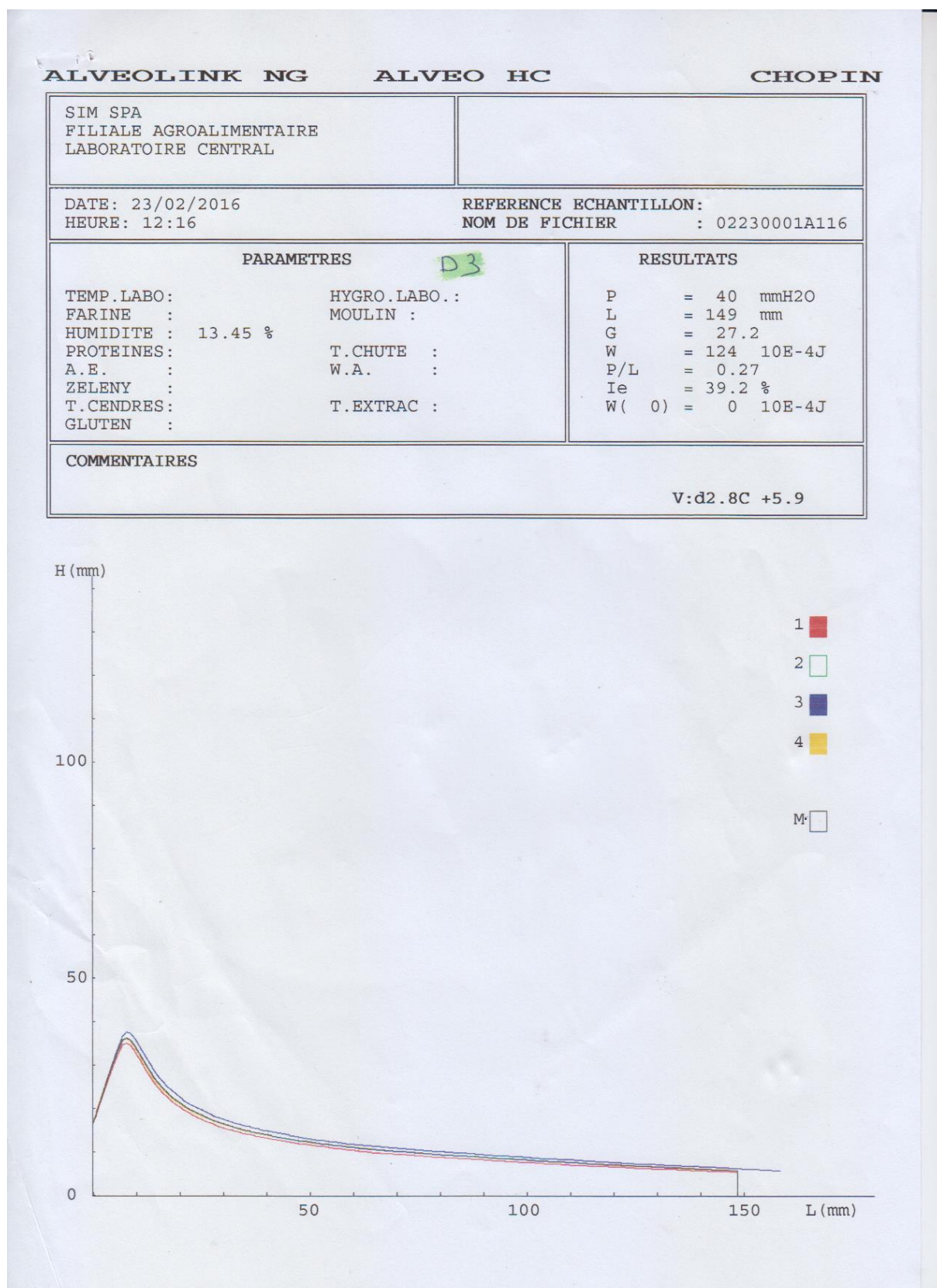


Figure (4) : Alvéogramme de l'échantillon ionisé à 0,20K Gy de la farine de la première année

ALVEOLINK NG		ALVEO HC		CHOPIN
SIM SPA FILIALE AGROALIMENTAIRE LABORATOIRE CENTRAL				
DATE: 29/03/2015 HEURE: 09:04		REFERENCE ECHANTILLON: NOM DE FICHIER : 03290000A115		
PARAMETRES		RESULTATS		
TEMP. LABO:	HYGRO. LABO.:	P	=	40 mmH2O
FARINE : T (Dose 90Kg)	MOULIN :	L	=	162 mm
HUMIDITE : 14.90 %		G	=	28.3
PROTEINES:	T. CHUTE :	W	=	125 10E-4J
A.E. :	W.A. :	P/L	=	0.25
ZELENY :		Ie	=	38.1 %
T. CENDRES:	T. EXTRAC :	W(0)	=	0 10E-4J
GLUTEN :				
COMMENTAIRES		V:d2.8C +5.9		

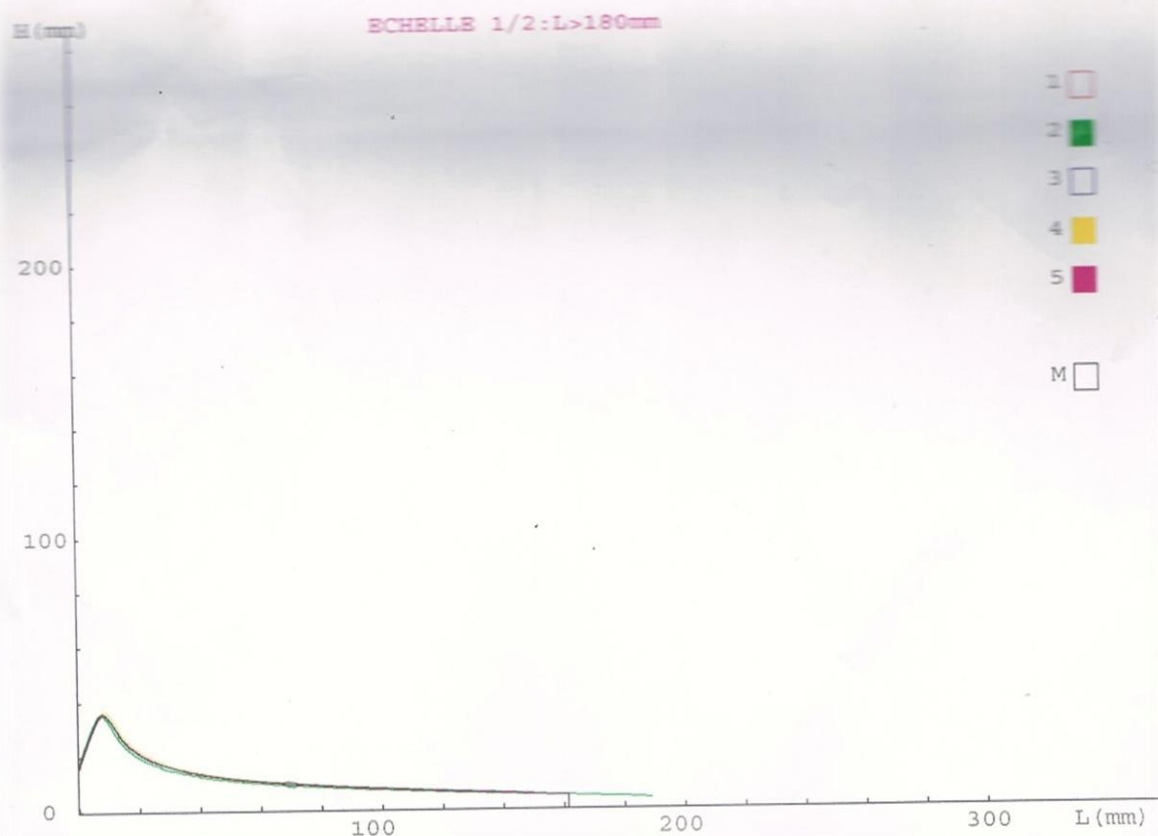


Figure (5) : Alvéogramme de l'échantillon témoin de la farine de la deuxième année

I.VEOL.TNK NG ALVEO HC		CHOPIN
SIM SPA FILIALE AGROALIMENTAIRE LABORATOIRE CENTRAL		
DATE: 29/03/2015 HEURE: 10:17		REFERENCE ECHANTILLON: NOM DE FICHIER : 03290001A115
PARAMETRES		RESULTATS
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO. :	P = 43 mmH2O
PARINE : <i>D₁ (Dose 9.4Kg)</i>	MOULIN :	L = 174 mm
HUMIDITE : 14.65 %	T. CHUTE :	G = 129.4
PROTEINES :	W.A. :	W = 139.4 10E-4J
A.E. :	T. EXTRAC :	D/L = 0.25
ZELENY :		Ie = 38.4 %
T. CENDRES :		W(0) = 0 10E-4J
GLUTEN :		
COMMENTAIRES		V:d2.8C +5.9

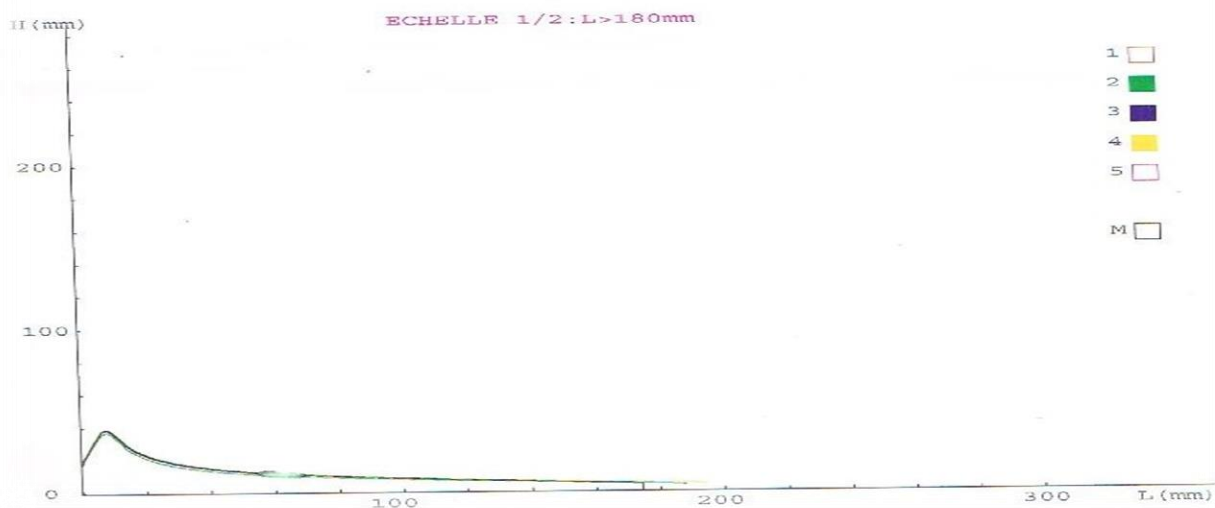


Figure (6) : Alvéogramme de l'échantillon ionisé à 0,10KGy de la farine de la deuxième année

ALVEOLINK NG		ALVEO HC		CHOPIN
SIM SPA FILIALE AGROALIMENTAIRE LABORATOIRE CENTRAL				
DATE: 29/03/2015 HEURE: 11:06		REFERENCE ECHANTILLON: NOM DE FICHIER : 03290002A115		
PARAMETRES		RESULTATS		
TEMP. LABO :		P	=	48 mmH2O
FARINE :	$D_2 (D_{200} 0,1)$	L	=	157 mm
HUMIDITE :	15.20 %	G	=	27.9
PROTEINES :		W	=	138 10E-4J
A.E. :		P/L	=	0.31
ZELÉNY :		Ie	=	35.8 %
T. CENDRES :		W(0)	=	0 10E-4J
GLUTEN :				
COMMENTAIRES		V:d2.8C +5.9		

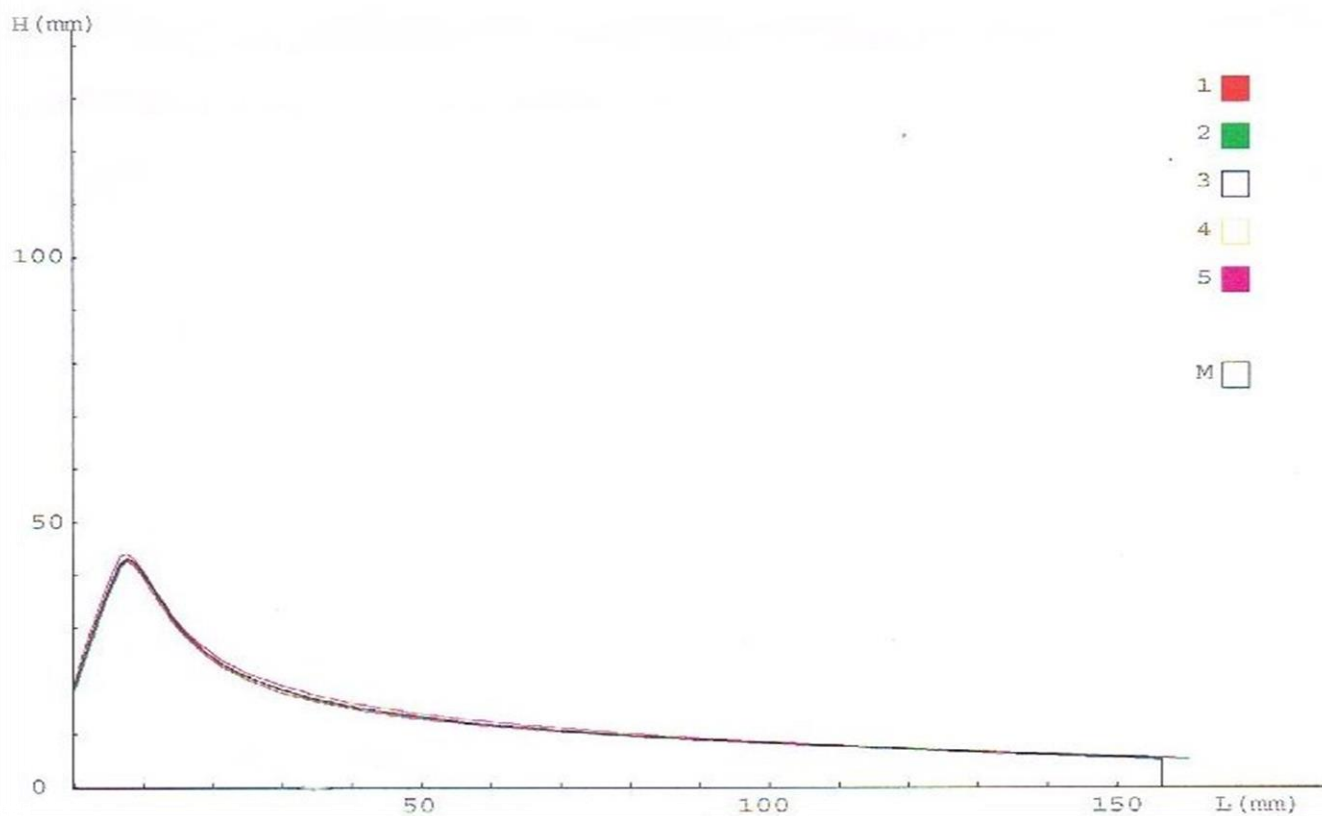


Figure (7) : Alvéogramme de l'échantillon ionisé à 0,15KGy de la farine de la deuxième année

ALVEOLINK NG		ALVEO HC		CHOP 1E
SIM SPA FILIALE AGROALIMENTAIRE LABORATOIRE CENTRAL				
DATE: 05/04/2015 HEURE: 11:31		REFERENCE ECHANTILLON: NOM DE FICHIER : 04050000A115		
PARAMETRES		RESULTATS		
TEMP.LABO:	HYGRO.LABO.:	P	=	46 mmH2O
FARINE : <i>D₃ (Dose 0,20Kgy)</i>	MOULIN :	L	=	191 mm
HUMIDITE : 14.60 %		G	=	30.8
PROTEINES:	T.CHUTE :	W	=	156 10E-4J
A.E. :	W.A. :	P/L	=	0.24
ZELENY :	T.EXTRAC :	Ie	=	38.8 %
T.CENDRES:		W(0)	=	0 10E-4J
GLUTEN :				
COMMENTAIRES		v:d2.8C +5.9		

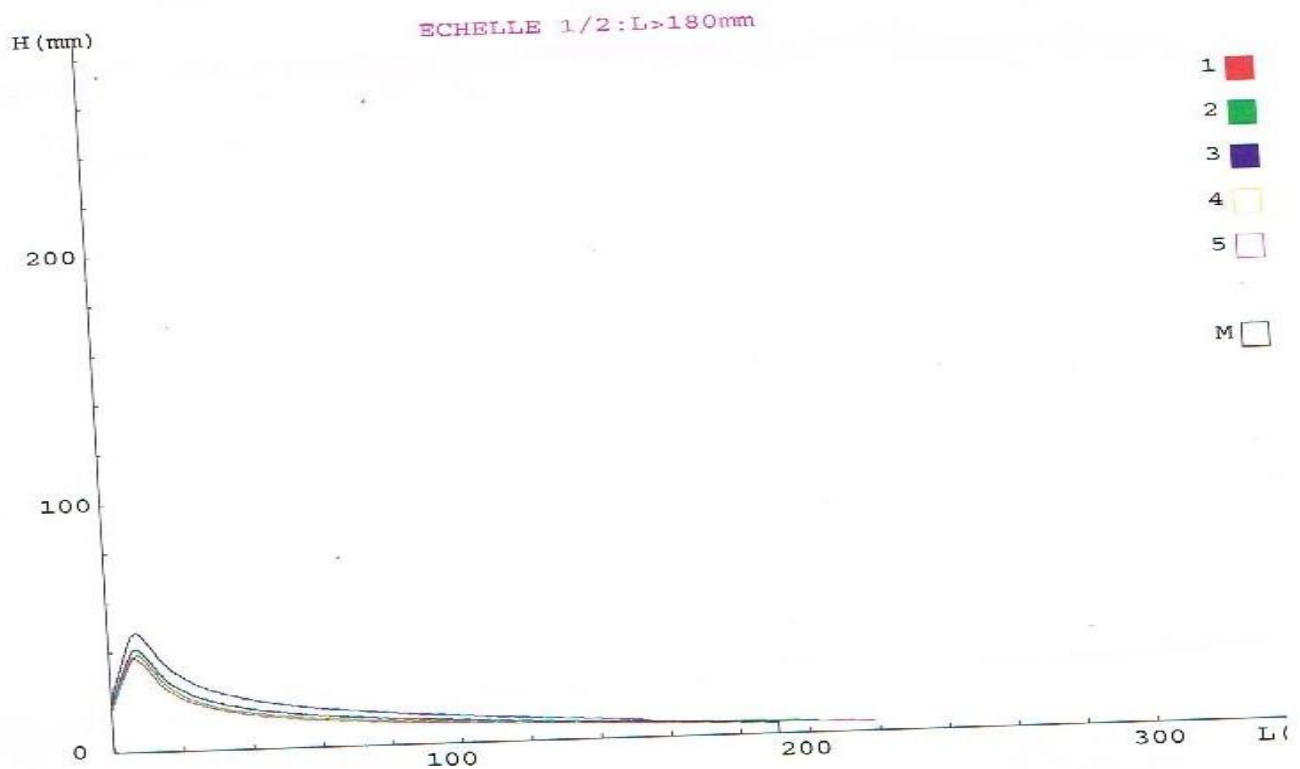


Figure (8) : Alvéogramme de l'échantillon ionisé à 0,20KGy de la farine de la deuxième année

Annexe (4)

Certaines corrélations étudiées, représentées en graphiques

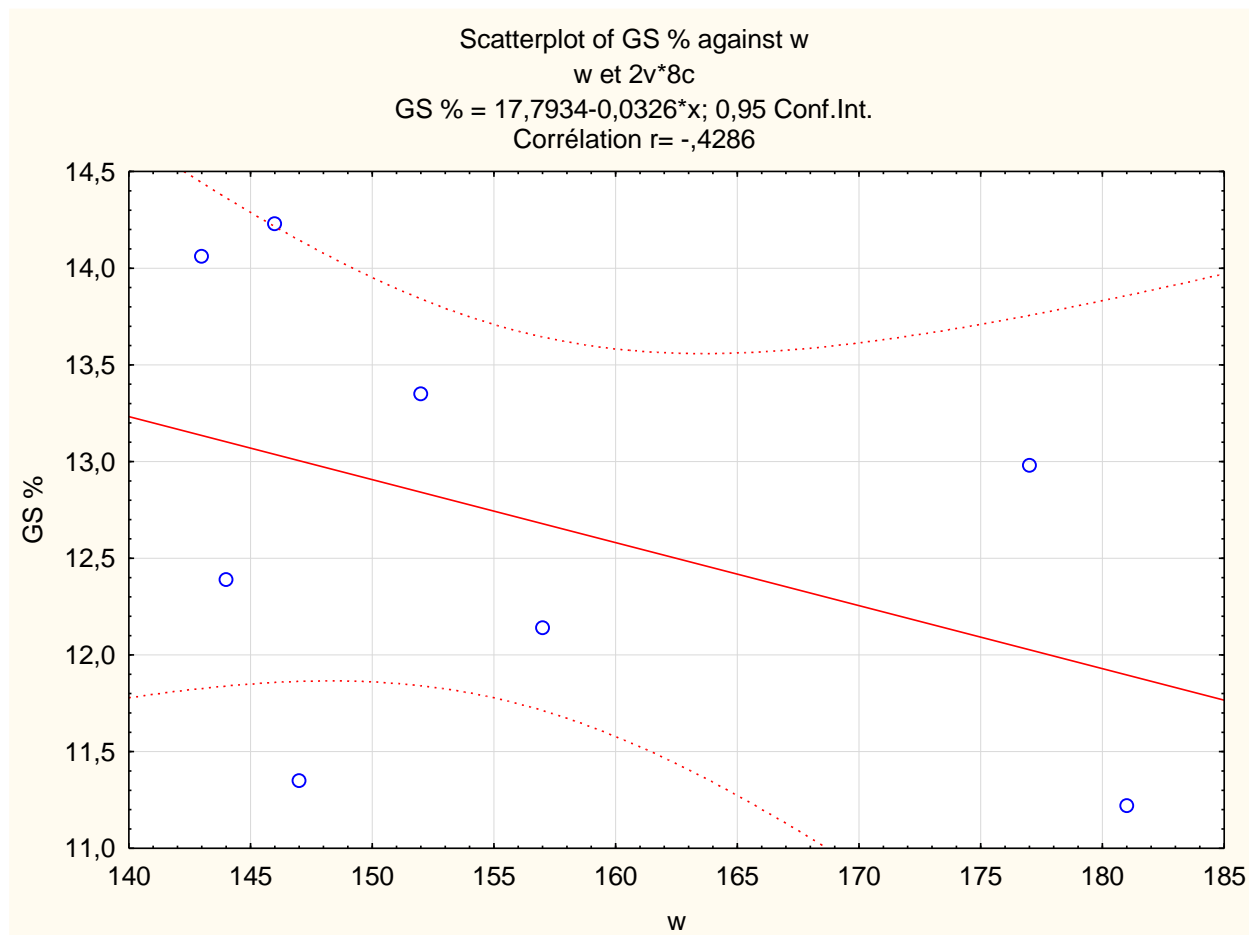


Figure (1) : Relation entre la force boulangère (W) et le gluten sec (GS)

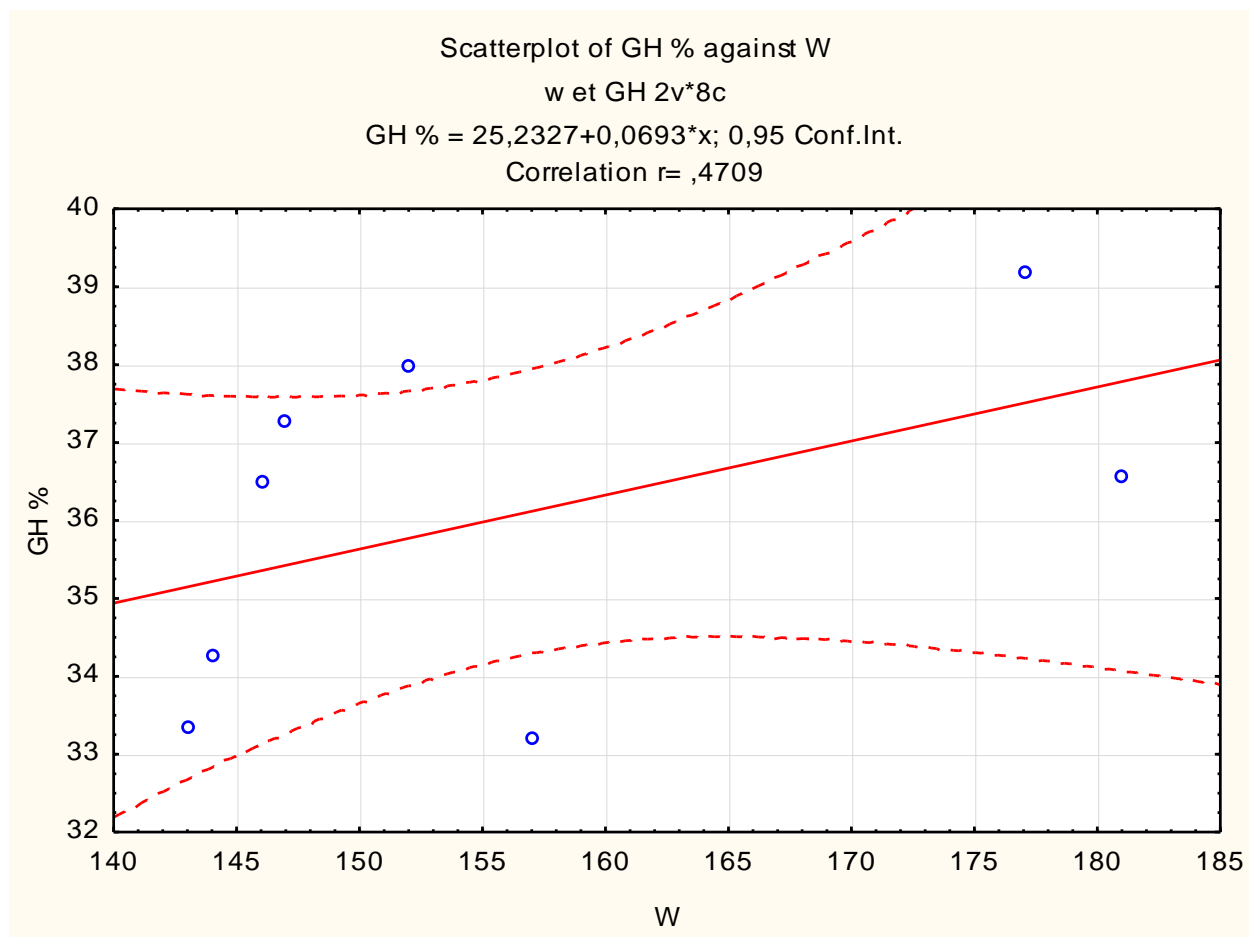


Figure (2) : Relation entre la force boulangère (W) et le gluten humide (GH)

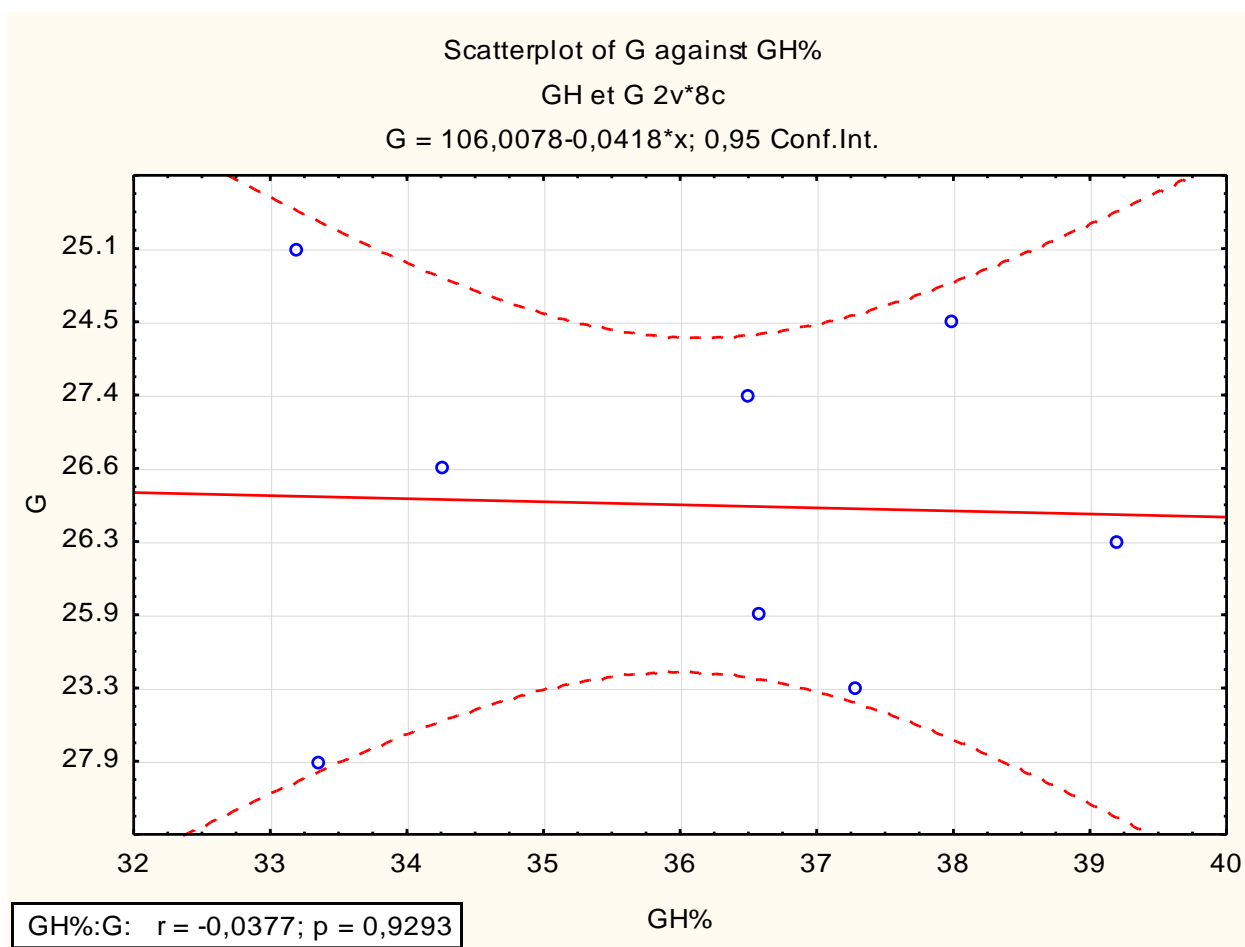


Figure (3) : Relation entre le gluten humide (GH) et le gonflement (G)