

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عمار ثليجي بالأغواط
Université Amar TELIDJI de Laghouat
كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم علوم المادة
Département des Sciences de la Matière



Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master-LMD

Filière : Chimie

Option : Chimie organique appliquée

Présentées par : GUIBADJ Fatma Zohra et HAMDI Keltoum

**Evaluation *in vitro* du pouvoir amylolytique des amidons
du blé dur (*Triticum turgidum*) et de l'orge (*Hordeum
vulgare*)**

Soutenu publiquement le 20/06/2021, devant le jury composé de :

Mr. Mohamed YOUSFI	Professeur	Université de Laghouat	Président
Mr. Badreddine BELHADI	MCA	Université de Laghouat	Examineur
Mr. Amar DJERIDANE	Professeur	Université de Laghouat	Encadrant
Melle. Reguia MAHFOUDI	MCA	ENS de Laghouat	Co-encadrant

Année universitaire 2020/2021

Dédicace

À mes chers parents, pour leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chers frères pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À mes oncles et tantes ainsi que leurs épouses, époux et enfants.

À mes chères cousins et cousines, À toutes mes chères amies.

À tous ceux qui m'ont enseigné, pris ma main et m'ont montré le chemin de la connaissance

Merci d'être toujours là pour moi.

Fatma Zohra

Dédicace

À mes chers parents ;

À mes chères sœurs et mes chers frères ;

*À ma très chère sœur Amina, pour avoir été à mes cotes à
chaque instant ;*

À tous les membres de ma famille ;

À mes amies et tous ceux qui me sont chers ;

À tous la promotion de chimie organique appliquée ;

Keltoum

Remerciements

Nous tenons d'abord Allah tout puissant qui nous a donné la force et patience pour accomplir ce modeste travail ;

Nos remerciements vont particulièrement à nos promoteurs ; le professeur **Amar DJERIDANE** et le docteur **Reguia MAHFOUDI** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en nous encadrant et pour l'aide précieuse qu'il nous a apportée, pour ses remarque et conseils avisés qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous adressons également, un grand merci à Mademoiselle **Djahida BEY**, doctorante en troisième cycle au département de biologie à l'université de Laghouat pour son aide inestimable, sa contribution judicieuse, sa gentillesse et sa main tendue dans les bons et les moins bons moments.

Ce travail de mémoire s'est déroulé au laboratoire de recherches des sciences fondamentales à l'université **Amar Telidji –Laghouat** ; dont nous remercions infiniment son directeur, le professeur Mohamed **YOUSFI** pour l'accueil et les conditions scientifiques qui nous ont été offertes ;

Nos remerciements s'adressent à monsieur **Mohamed YOUSFI** d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance et à monsieur Badreddine BELHADI pour avoir accepté d'examiner notre travail ;

Enfin, nous remercions toute l'équipe administrative et pédagogique du département des sciences de la matière de l'université **Amar Telidji** et à tous ceux qui nous ont apporté leurs soutiens et encouragement durant la réalisation de ce travail

Liste des abréviations

ACP	: Analyse en composante principales
BDC	: Blé de Dar Chioukh
BM	: Blé de M'sila
BSé	: Blé de Sétif
BSM	: Blé de Sidi Makhlouf
DID	: Diabète Insuline Dépendant
DNID	: Diabète No- Insuline Dépendant
FAO	: Organisation pour L'alimentation et L'agriculture
FM	: Frik de M'sila
FSé	: Frik de Sétif
FSM	: Frik de Sidi Makhlouf
MDC	: Mermez de Dar Chioukh
MM	: Mermez de M'sila
MSé	: Mermez de Sétif
MSM	: Mermez Sidi Makhlouf
ODC	: Orge de Dar Chioukh
OM	: Orge de M'sila
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
Osé	: Orge de Sétif
OSM	: Orge de Sidi Makhlouf

Liste de tableaux

Tableau 1	: Classification botanique et photos du Blé dur, Frik, Orge et Mermez	04
Tableau 2	: Produits chimiques utilisés dans ce travail	05
Tableau 3	: Les rendements massiques des amidons dans les farines	10
Tableau 4	: Les teneurs en maltose (mg /g de farine) dans les extraits d'amidon	12
Tableau 5	: Les teneurs maximales du maltose libéré en mg par g de farine	15
Tableau 6	: Les teneurs du glucose en mg par g de farine	17
Tableau 7	: Matrice des coefficients de corrélation de Pearson (r) entre les valeurs provenant des quatre différentes méthodes de dosage	18

Liste des figures

Figure 1	: Représentation schématique d'amylose et d'amylopectine	02
Figure 2	: Photographies des farines du Blé du Frik d'Orge et du Mermez	09
Figure 3	: Courbe d'étalonnage d'amidon	10
Figure 4	: Courbe d'étalonnage du maltose	12
Figure 5	: Cinétique d'apparition du maltose par hydrolyse amylolytique des amidons étudiés	13
Figure 6	: Courbe d'étalonnage du glucose	16
Figure 7	: Projections des variables et des individus le plan factoriel F1-F2	19

Sommaire

Remerciements	I
Liste des sigles et abréviations	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
I. Introduction générale	01
II. Matériel et méthodes	04
II.1. Matériel	04
II.1.1. Matériel végétal	04
II.1.2. Matériel chimique	05
II.2. Méthodes	06
II.2.1 Extraction et dosage de l'amidon	06
II.2.2. Dosage d'amidon et du maltose	06
II.2.3. Cinétique d'apparition du maltose	06
II.2.4. Dosage du glucose dans les farines	07
II.2.5. Courbe d'étalonnage du maltose	07
II.2.6. Courbe d'étalonnage du glucose	07
II.2.7. Analyse statistique	08
III. Résultats et Discussions	09
III.1. Dosage spectrophotométrique de l'amidon	09
III.2. Dosage du maltose et du glucose	11
III.3. Corrélations entre les teneurs en amidon, en maltose et en glucose	18
IV. Conclusion générale	21
V. Références Bibliographiques	23

Introduction générale

I. Introduction générale

Les céréales sont des sources essentielles de l'alimentation humaine et animale. Le Blé, l'Orge, Le riz et le maïs sont les céréales les plus consommé et cultivés au monde. La production mondiale de Blé s'élève à 760,6 million de ton et 152,8 million de ton pour l'Orge en 2020 [1].

En Algérie, le Blé et l'Orge sont les céréales les très importants à leur rôle dans l'alimentation Algérienne, la production nationale des céréales est de 6 millions de tonnes en 2019 [2]. La production nationale couvre 30% des besoins de pays, le Blé dur représente 45% de la production totale des céréales ; l'Orge 28% et 24% pour le Blé tendre. En revanche, en 2017, le ratio de dépendance de l'Algérie aux importations de céréales est de 72,2 %, ce qui signifie que plus de 70 % des besoins en céréales sont couverts par les importations. Concernant le Blé, la couverture des besoins nationaux en Blé tendre est assurée à 78 % par les importations et à près de 45 % pour le Blé dur [3].

En Algérie, le Blé dur occupe une place privilégiée à son utilisation dans l'alimentation quotidienne de la population, sous diverses formes [4, 5], des nouvelles utilisations à l'échelle industrielle apparaissent depuis quelques années telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon et l'Orge pour l'alimentation animale [6].

Dans le règne végétal le Blé dur et l'Orge appartient à la famille des Graminées (ou *Poaceae*), de sous-famille des *Festucoïdées* (ou *Pooideae*) à la tribu des *Triticeae* de Genre *Triticum* (Blé et Frik) et *Hordeum* (Orge et Mermez) [7]. Les grains du Blé et l'Orge sont une principale ressource alimentaire à l'alimentation humaine. La composition moyenne des grains d'Orge et Blé en fonction de la matière sèche est la suivante : (60 à 70 %) de glucides sous forme d'amidon, (10 % à 11 %) de protéines, (1 à 2,5 %) de lipides et (2% à 5%) de cellulose [8].

L'amidon est un sucre complexe (polysaccharide) de formule chimique $(C_6H_{10}O_5)_n$ que l'on trouve dans le cytoplasme des cellules végétales, il est une source énergétique essentielle de l'alimentation humaine en particulier. L'amidon est aussi considéré comme source de glucides capable de donner par voie chimique ou enzymatique toute une gamme de produits alimentaires intermédiaires utilisés dans les filières de l'industrie agro-alimentaire [9]. Les applications de l'amidon sont diverses et variées dans de nombreux secteurs industriels non alimentaires : la production papetière, l'industrie pharmaceutique (9,5%), cosmétique, textile etc... Il est devenu également ces dernières années une matière première intéressante pour la

production de matières plastiques biodégradables ainsi que pour la production de bioéthanol, en tant que carburant [10].

L'amidon est un mélange de deux polysaccharides, l'amylose et l'amylopectine, dont les proportions sont variables selon les espèces. Les structures générales de l'amylose et de l'amylopectine sont présentées ci-dessous (**Figure 1**) [11].

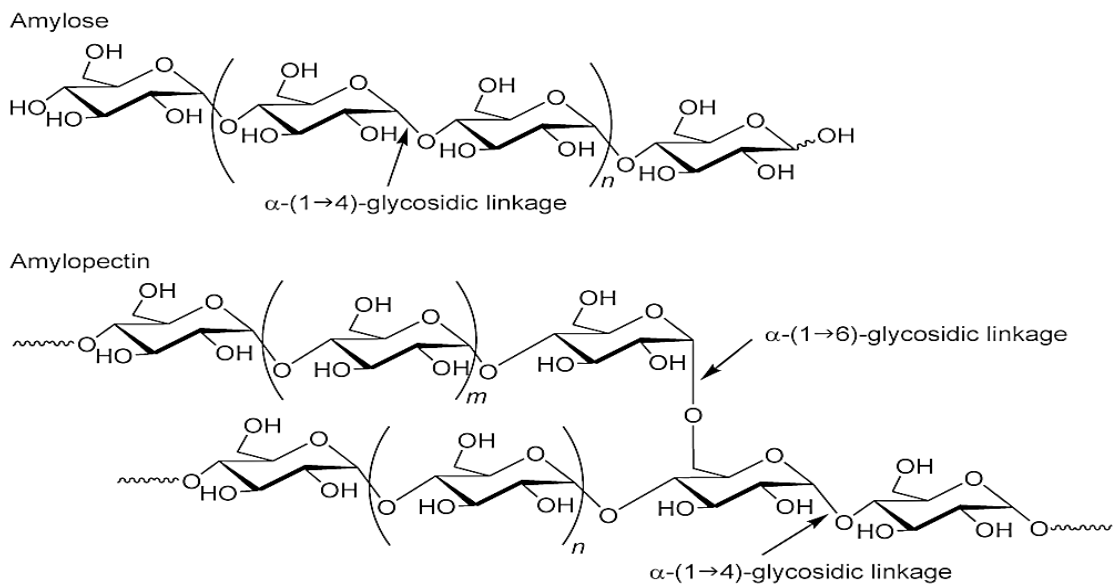


Figure 1 : Représentation schématique d'amylose et d'amylopectine

L'amylose est une structure linéaire constituée par un enchaînement de résidus de D-glucose, reliées entre elles par des liaisons α -(1-4) glycosidique. L'amylose représente (20 à 30%) de masse d'amidon Son poids moléculaire varie de 10^5 à 10^6 g/mol, L'amylose présente une structure hélicoïdale alors possède des propriétés hydrophobes à l'intérieur [12]. La solution d'amylose ne sont pas très stables en raison de la forte tendance à former des liaisons hydrogène intramoléculaire [13 et 14]. L'amylopectine est une structure ramifiée, elle est formée par des molécules de D-glucose, sont reliées entre elles par liaisons α -(1-4) glycosidique mais aussi par des liaisons α -(1-6) glycosidique. L'amylopectine représente (70% à 80%) de masse d'amidon Son poids moléculaire est 10^8 g/mol.

A température ordinaire, l'amidon est insoluble dans l'eau, mais au chauffage ($>50^\circ$) et en excès d'eau le grain d'amidon passe par trois états gonflement, gélification et solubilisation (perde sa structure semi cristalline). Après refroidissement l'amidon récupérer une structure cristalline cette étape appelle rétrogradation. Cependant l'amylose et l'amylopectine ne se reconfigurent pas de même façon l'amylose donne un gel très ferme et compact, alors que l'amylopectine crée une texture plus liquide et visqueuse [15].

La base de l'organisation de la molécule d'amidon repose sur 3 types de chaînes A, B et C, définies par le degré de polymérisation. Les chaînes A ne portent pas d'autres chaînes, alors que les chaînes B portent une ou plusieurs autres chaînes ; enfin les chaînes C sont censées représenter les chaînes initialement biosynthétisées dans la mesure où elles sont les seules à posséder un résidu réducteur [16]. Le type A, caractéristique des amidons des céréales et le type B des amidons de tubercules de céréales riche en amylose (>40%), le type C est spécifique aux amidons de légumineuses et présente des caractéristiques intermédiaires entre les types A et B.

Le diabète sucré est une maladie chronique qui survient lorsque le pancréas ne produit pas assez d'insuline ou lorsque l'organisme n'est capable pas d'utiliser efficacement l'insuline qu'il est produit. Il en résulte une concentration accrue de glucose dans le sang (hyperglycémie) [17]. On distingue principalement deux types de diabète, le type 1 caractérisé par une production d'insuline insuffisante (DID) : insuline dépendant) ; le type 2 qui touche 90% des diabétiques, il résulte de l'utilisation inadéquate de l'insuline par l'organisme (DNID) : insuline non-dépendant) [17]. Le nombre de diabétiques dans le monde est passé à 463 millions de personnes en 2019 et il sera 700 millions en 2045 [18]. En Algérie, la prévalence est estimée 2,8 millions (14,4%) en 2019 [19]. Toutefois, les tentatives thérapeutiques sont très intenses dans ce domaine et diverses approches pharmacologiques sont utilisées pour améliorer le traitement du diabète par différents modes d'action. Parmi ces stratégies est de réduire ou ralentir la digestion et l'absorption des glucides alimentaires par l'intermédiaire de l'inhibition des principales enzymes hydrolysant les glucides ingérés l' α -amylase et l' α -glucosidase dans les organes digestifs [20]. La digestion des glucides se fait sous l'action des enzymes digestives. L'alpha amylase (salivaires et pancréatiques) (EC3.2.1.1) qui catalysant l'hydrolyse d'amidon (liaison α 1-4) générant le glucose, le maltose, et la dextrine [21].

C'est dans ce contexte que se situe notre travail de mémoire qui s'attèle à l'étude du pouvoir amyolytique *in vitro* de quinze farines (amidons) issus de deux céréales fondamentales dans le régime alimentaire du peuple algérien (Blé dur et Orge). Le programme de recherche s'articule autour de deux axes principaux, Le premier axe porte sur la comparaison des teneurs en amidon de quinze échantillons : Blé, Frik, Orge et Mermez de quatre régions (Sidi Makhlouf, M'sila, Sétif et Dar Chioukh). Le second axe sera focalisé sur l'étude de la cinétique d'apparition du maltose et détermination de quantité du glucose par action amyolytique de l' α -amylase sur les farines et les extraits d'amidons préparées afin de les classer par rapport à la réponse biologique consécutive à l'ingestion de glucides qui peut être appliquée à la gestion du diabète.

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes





Notre travail de recherche a été réalisé au sein de laboratoire des sciences fondamentales à l'université Amar Telidji de Laghouat.

II.1. Matériel

II.1.1. Matériel végétal

Les échantillons utilisés dans ce travail ont été récoltés en 2018 de quatre régions différentes en Algérie (Sidi Makhoulf (Laghouat), Dar Chioukh (Djelfa), M'Sila et Sétif) (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Classification botanique et photos du blé dur, frik, orge et mermez.

Nom	Photo	Classification botanique
Blé dur		Embranchement : Angiospermes Sous embranchement : Spermaphytes Classe : Monocotylédones Ordre : Glumiflorales Super ordre : Comméliniflorales
Frik		Famille : Gramineae Tribu : Triticeae Sous tribu : Triticinae Genre : Triticum Espèce : <i>Triticum durum</i> Desf
Orge		Embranchement : Angiospermes Sous embranchement : Spermaphytes Classe : Monocotylédones Ordre : Glumiflorales Super ordre : Comméliniflorales
Mermez		Famille : Gramineae Tribu : Triticeae Sous tribu : Triticinae Genre : <i>Hordeum</i> Espèce : <i>Hordeum vulgare</i>

Le matériel végétal a été ensuite broyé manuellement (classique) puis tamisé (tamis de diamètre 200 μ m). Dans un souci de simplicité nous avons proposé des codifications pour les différents échantillons étudiés :

BSM	: Blé de Sidi Makhoulf	BSé	: Blé de Sétif
FSM	: Frik de Sidi Makhoulf	FSé	: Frik de Sétif
OSM	: Orge de Sidi Makhoulf	OSé	: Orge de Sétif
MSM	: Mermez de Sidi Makhoulf	MSé	: Mermez de Sétif
BM	: Blé de M'sila	BDC	: Blé Dar Chioukh
FM	: Frik de M'sila	ODC	: Orge Dar Chioukh
OM	: Orge de M'sila	MDC	: Mermez Dar Chioukh
MM	: Mermez de M'sila		

II.1.2. Matériel chimique

Tous les produits utilisés dans ce travail sont d'un grade analytique élevé (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Produits chimiques utilisés dans ce travail

Produit	Firme
Amidon soluble ($C_6H_{10}O_5$) _n (ref. 9005-25-8), sulfate de sodium (Na_2SO_4), phénol (C_6H_6O), D-(+)-maltose monohydraté ($C_{12}H_{22}O_{11}$).	Riedel-de Haën (Allemagne)
α -amylase pancréatique de porc (10 UI/mg) (EC3.2.1.1), tartrate de sodium et potassium ($KNaC_4H_4O_6$) (ref. 6381-59-5), hydroxyde de sodium (NaOH), acide 3,5-dinitrosalicylique ($C_7H_4N_2O_7$), D-(+)-glucose ($C_6H_{12}O_6$) (ref. 50-99-7), Chlorure de Potassium (KCl), iodure de potassium (KI) (7681-11-0), diode (I_2), phosphate de potassium monobasique (KH_2PO_4), phosphate de potassium dibasique trihydraté ($K_2HPO_4, 3H_2O$) (ref. 7758-11-4)	Sigma-Aldrich (France)
Réactif du 'glucose oxydase'	SPINERECT

II.2. Méthodes

II.2.1. Extraction et dosage de l'amidon

Pour extraire l'amidon, 0,15g (m_0) de farine a été porté à l'ébullition avec 15 mL d'eau distillée pendant 1heure. Ensuite, le mélange a été filtré.

La teneur en amidon a été ensuite déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage de l'amidon [22]. Pour réaliser cette courbe d'étalonnage, 2 mL de chaque dilution d'amidon (0,1-0,5mg) a été mélangée avec 30 μ L du réactif de Lugol diluée 10 fois. La densité optique du complexe bleu formé a été mesurée ensuite à 600 nm sur un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu 1800).

La teneur en amidon (TA) est exprimée en pourcentage de la fraction massique de l'échantillon initial selon l'équation suivante :

$$TA (\%) = \frac{m_1}{m_0} * 100$$

Où ; m_0 : masse de la farine ; m_1 : masse de l'amidon

II.2.2. Dosage du maltose dans les extraits d'amidon

Ce test est basé sur le dosage spectrophotométrique du maltose libéré de l'hydrolyse amylolytique de l'amidon [23]. Pour ce faire, dans des tubes à essai, 100 μ L de chaque extrait d'amidon a été ajouté à 300 μ L du tampon phosphate salé. Après pré-incubation à 37°C pendant 5 min, 100 μ L de l'enzyme α -amylase (10 UI/mg) a été ajoutée, et le mélange a été incubé à 37°C pendant 20 min. Ensuite, 1mL de la solution DNS a été ajouté dans chaque tube, et le mélange a été porté à l'ébullition pendant 5 min. Après refroidissement, 2 mL d'eau distillée a été ajouté, et la lecture de la densité optique à 500 nm a été effectuée immédiatement sur un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu 1800).

II.2.3. Cinétique d'apparition du maltose

Dans le but de déterminer le temps nécessaire pour l'accomplissement de la réaction enzymatique de l' α -amylase sur les quinze farines, nous avons suivis l'apparition du maltose libéré à différents temps de la réaction enzymatique en se basant sur la courbe d'étalonnage

du maltose préalablement établie [23]. Pour ce faire, une série de tubes à essai contenant chacun 3mL d'eau distillée et 0,03g de farine ont été pré-incubé pendant 10 min à 37°C, puis 150 µL de la solution enzymatique de l' α -amylase (10 UI/mg) ont été ajoutée pour chaque tube. Après différents intervalles de temps, 500 µL du mélange réactionnel ont été prélevés et ajoutés à 1mL de DNS, puis portés à l'ébullition pendant 5min. Après refroidissement, 1 mL d'eau distillée a été ajouté, et la lecture de la densité optique à 500 nm a été effectuée immédiatement sur un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu 1800).

II.2.4. Dosage du glucose dans les farines

Dans ce test, le dosage du glucose a été déterminé par le dosage du glucose libéré lors de l'hydrolyse des amidons étudiés par l' α -amylase après 4 heures de la réaction amylolytique. Pour ce faire, 0,03g de chaque farine et 3mL d'eau distillée ont été pré-incubés durant 10 min, puis 150 µL de la préparation enzymatique (α -amylase : 10 UI/mg) a été ajoutée, et le mélange a été incubé à 37°C pendant 240 min. Après, 1mL du réactif du glucose a été ajouté à 500 µL de chaque mélange réactionnel. Les mélanges ont été agités, maintenus à l'obscurité pendant 30 minutes, dilués avec 500 µL d'eau distillée, puis la lecture de leurs densités optiques a été effectuée à 505 nm sur un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu 1800).

II.2.5. Courbe d'étalonnage du maltose

En vue de doser les sucres réducteurs issus de dégradation de l'amidon par l' α -amylase, une courbe d'étalonnage du maltose (0,25–1mg) a été préalablement établie [24]. Pour ce faire, une prise de 500 µL de chaque dilution du maltose a été mélangée avec 1 mL de la solution DNS (acide 3,5-dinitrosalicylique), et le mélange réactionnel a été ensuite porté à l'ébullition pendant 5 minutes. Après refroidissement, 3 mL d'eau distillée a été ajouté à chaque solution, et la densité optique du complexe rouge brique formé a été mesurée à 500 nm sur un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu 1800).

II.2.6. Courbe d'étalonnage du glucose :

Il s'agit d'un dosage colorimétrique à la suite de deux réactions enzymatiques couplées. La première réaction enzymatique oxyde le glucose présent dans l'échantillon en acide gluconique et peroxyde d'hydrogène. Ce dernier sert de substrat à la peroxydase dans une réaction couplée conduisant à l'oxydation de l'o-dianisidine (chromogène) en un produit coloré (quinonéimine) qui peut être dosé spectrophotométriquement à 505 nm [25], Alors, à

partir d'une courbe d'étalonnage du glucose préalablement établie, on peut déterminer graphiquement la concentration en glucose dans une solution inconnue.

Pour ce faire, à partir d'une solution mère de glucose, une gamme de dilution a été préparée (0,01-0,1mg). 500 μ L de chaque solution fille a été mélangé avec 1 mL du réactif du glucose oxydase. Les mélanges ont été agités puis maintenus à l'obscurité pendant 30 minutes. La densité optique de chaque solution est enregistrée à 505 nm en utilisant un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu 1800).

II.2.7. Analyse statistique :

Les résultats des tests effectués sont exprimés en moyenne \pm SD d'analyses en trois à quatre essais en utilisant le logiciel Excel 2018. Une analyse descriptive des résultats est réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 2018.5.03, avec une tolérance de 0,0001 et un intervalle de confiance de 95%, afin de déterminer le coefficient de corrélation (coefficient de Pearson) et de faire l'analyse en composantes principales (ACP) pour distinguer la relation entre les farines en fonction de leurs teneurs en amidon, en maltose et en glucose.

Résultats et discussion

III. Résultats et Discussion

III.1. Dosage spectrophotométrique de l'amidon

L'amidon est la substance de réserve la plus répandue chez les végétaux supérieurs, synthétisée à partir de l'énergie solaire. L'amidon est présent dans un grand nombre de matières premières agricoles comme les céréales (30 à 70%), les tubercules (60 à 90%), les légumineuses (25 à 50%) et dans certains fruits. L'amidon est un polysaccharide (homopolymère) naturel qui suscite un intérêt croissant dans des applications alimentaires et non alimentaires. L'amidon est composé de deux polymères de structure primaire différente : l'amylose, molécule essentiellement linéaire et l'amylopectine, molécule ramifiée. Selon l'origine botanique, les teneurs en amylose et en amylopectine varient respectivement de 20 à 30% et de 70 à 80% pour les amidons standards. Cependant, quelques espèces d'amidon peuvent contenir moins de 1% d'amylose (maïs cireux ou waxy) ou entre 45 à 80% d'amylose (amylo-maïs) [26].

Les farines obtenues présentent de couleurs différentes. La farine du Blé est de couleur blanche, l'Orge de couleur blanche, le Frik montre une couleur verte claire et le Mermez une couleur marron clair (Figure 2).



Figure 2 : Photographies des farines du Blé, du Frik, d'Orge et du Mermez

Les différents constituants de farine sont responsables de la diversité de couleurs à l'exception de l'amidon, il est généralement blanc. Cependant, l'amidon contient des constituants mineurs tels que les protéines, les lipides et les minéraux. Ces constituants, bien que présents en faibles quantités (<2%), sont susceptibles de modifier le comportement général de l'amidon sans toutefois en changer les bases physicochimiques [27].

Pour déterminer la quantité d'amidon dans chaque farine, nous avons utilisé la courbe d'étalonnage de l'amidon **Figure 3**.

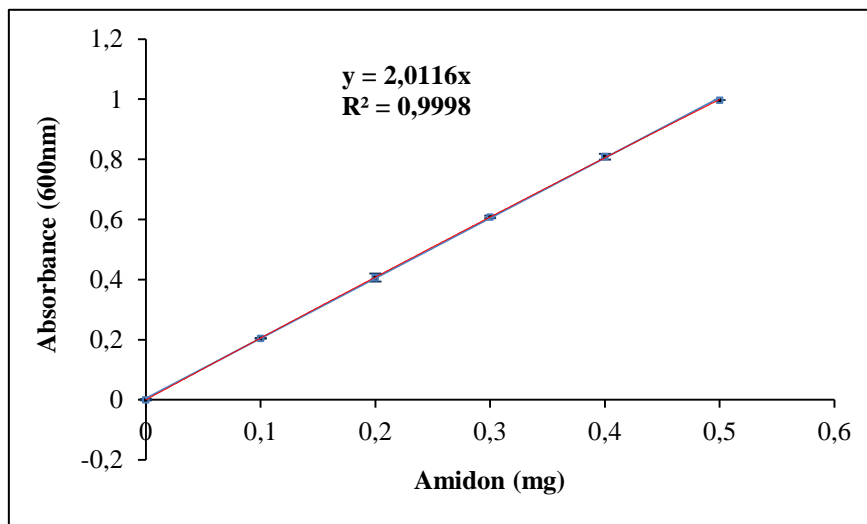


Figure 3 : Courbe d'étalonnage de l'amidon

Après extraction solide-liquide des extraits de farine avec de l'eau distillée par décoction, les teneurs globales en amidon exprimées en pourcentages par rapport la matière sèche de la farine est donnée à partir la relation suivant :

$$m_1 = (A * F_d) / P \text{ et } TA = m_1 / m_0 * 100$$

A : absorbance, F_d : Facteur de dilution, P : la ponte.

Tableau 3 : Les rendements massiques des amidons dans les farines

Echantillon	Rendement □	Echantillon	Rendement □
BSM	13,26 ±0,37	OSM	11,17 ±0,46
BM	05,54 ±0,23	OM	07,89 ±0,18
BSé	08,99 ±0,15	OSé	09,41 ±0,12
BDC	07,48 ±0,18	ODC	08,62 ±0,12
FSM	01,36 ±0,05	MSM	11,02 ±0,03
FM	08,96 ±0,04	MM	05,02 ±0,33
FSé	07,37 ±0,07	MSé	04,03 ±0,04
		MDC	04,62 ±0,04

Le rendement d'extraction varie de 1,36 ±0,05 à 13,26 ±0,37 %. On remarque que l'extrait d'amidon de la farine du Blé de Sidi Makhlouf (BSM) a enregistré un fort rendement de

l'ordre de $13,26 \pm 0,60$ %, suivi par les deux extraits des farines de l'Orge et de Mermez de la même région avec des rendements vaux $11,17 \pm 0,46$ % et $11,02 \pm 0,03$ %, respectivement. En ce qui concerne les autres farines, nous avons noté des rendements d'extraction inférieurs à 9 %.

D'autre part, il est clair que les valeurs du rendement de l'amidon dans les farines du Blé sont toujours supérieures à celles trouvées dans les farines correspondantes du Frik, et que les valeurs du rendement de l'amidon dans les farines de l'Orge sont aussi supérieures à celles enregistrées dans les farines du Mermez, sauf dans la farine du Blé de M'Sila le rendement en amidon était inférieur à celui trouvé dans la farine du Frik de la même région. Cette divergence pouvait être en partie expliquée par le fait que ces deux échantillons n'appartiennent pas à la même sous-espèce du Blé. D'autre part, les résultats trouvés dans notre étude sont similaires à ceux trouvés par un autre chercheur mené sur le dosage pondéral des amidons [28].

III.2. Dosage du maltose et du glucose

La digestion de l'amidon débute dans la bouche pendant la mastication grâce à une enzyme de la salive : l'amylase salivaire. Cette première décomposition de l'amidon est stoppée par l'acidité de l'estomac mais reprend dans le duodénum (première partie de l'intestin grêle) grâce à l'action des amylases pancréatique et intestinale. L'action successive de toutes ces amylases conduit à l'apparition d'un sucre plus simple, le maltose, qui lui-même pourra être transformé en un sucre encore plus simple, le glucose. Pour doser le maltose dans les extraits d'amidon pour les quinze échantillons, nous avons utilisé la courbe d'étalonnage du maltose (**Figure 4**).

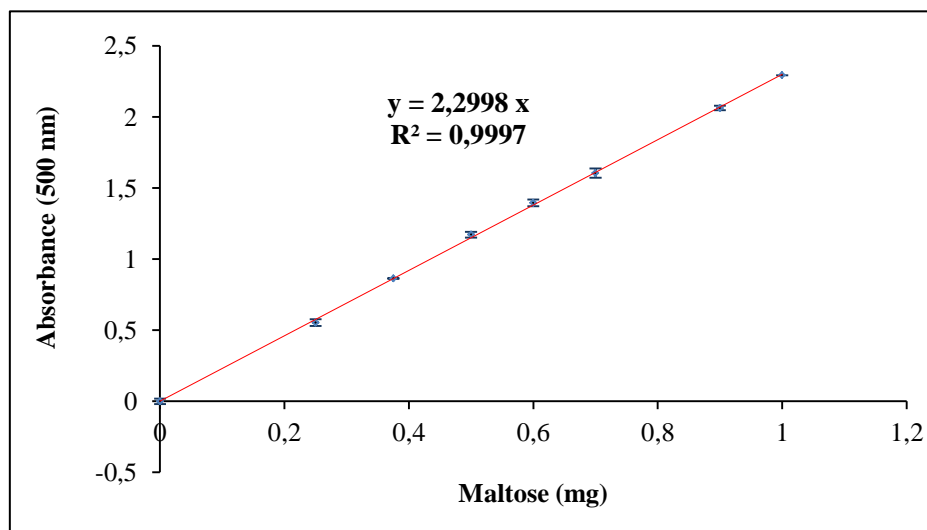


Figure 4 : Courbe d'étalonnage du maltose

Les quantités du maltose libéré après 20 min d'hydrolyse amylolytique dans les extraits de farine pour les quinze échantillons sont exposées dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Les teneurs en maltose (mg /g de farine) dans les extraits d'amidon

Echantillon	Teneur	Echantillon	Teneur
BSM	3,07±0,06	OSM	8,08 ±0,22
BM	3,18 ±0,35	OM	5,90 ±0,20
BSé	6,51 ±0,22	Osé	8,66 ±0,06
BDC	2,93 ±0,50	ODC	6,64 ±0,40
FSM	5,89 ±0,17	MSM	4,73 ±0,15
FM	4,14 ±0,29	MM	4,08 ±0,04
FSé	3,77 ±0,02	MSé	2,89 ±0,09
		MDC	5,39 ±0,07

D'après le tableau précédent, on remarque que les teneurs maximales des sucres réducteurs sont comprises entre 8,66 ±0,06 et 2,89 ±0,17 mg équivalent en maltose/g de farine. Les teneurs les plus importantes sont enregistrées dans les extraits des farines de l'Orge, tandis que les autres extraits de farines ont présenté des teneurs inférieures mais similaires en maltose.

D'autre part, nous avons suivi l'apparition du maltose dans les farines en fonction du temps de la réaction amylolytique (**Figure 5**).

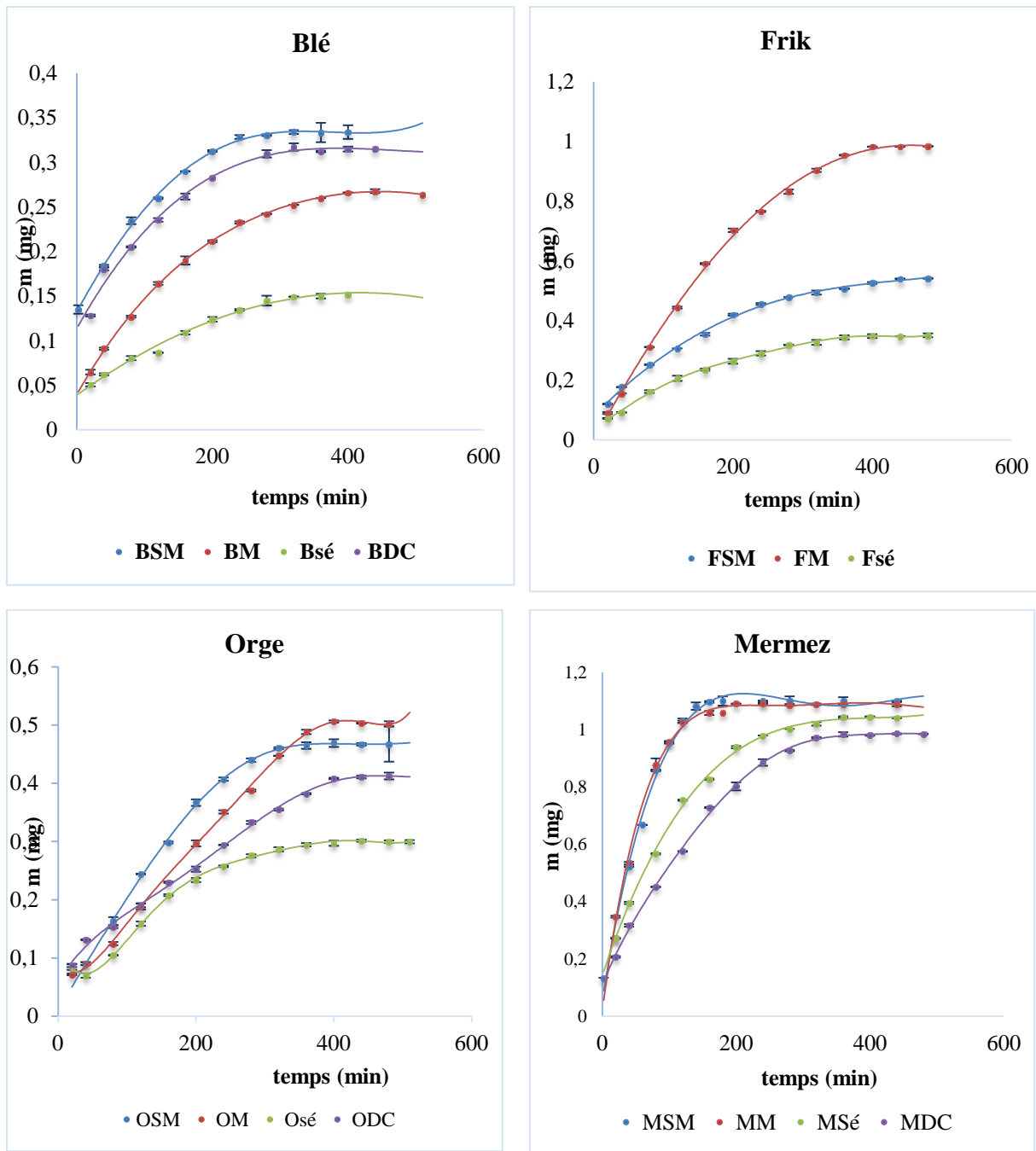


Figure 5 : Cinétique d'apparition du maltose par hydrolyse amylolytique des farines étudiées

D'après les courbes de la **Figure 5**, on constate que la cinétique d'apparition du maltose en fonction du temps représente la même allure seulement avec une différence remarquable des valeurs du temps d'achèvement de l'hydrolyse totale. La cinétique de libération totale du maltose varie de façon significatif dans un intervalle de 120 à 400 min selon la source de la farine. La farine du Mermez semble être la plus rapide à s'hydrolyser relativement aux autres farines, alors que les farines d'Orge et Frik se dégradent avec la plus faible vitesse. Cela

pourrait être dû à la nature de la farine et à la présence des autres constituants du grain qui influent aussi sur la vitesse de l'hydrolyse amylasique. Toutefois, la comparaison des réactivités des substrats amylicés en présence de la même enzyme, montre l'influence de la source botanique des amidons et donc de la structure de l'amidon. En effet, les teneurs élevées en amylose, les composés intermédiaires, et les longues chaînes d'amylopectine augmentent la résistance de l'amidon à l'hydrolyse enzymatique et la digestion *in vitro* [29].

A l'aide des courbes de la **Figure 5**, nous avons déterminé les teneurs maximales du maltose libéré pour atteindre l'hydrolyse amylolytique totale des échantillons étudiés. Les résultats sont mentionnés dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Les teneurs maximales du maltose libéré en mg par 1 g de farine

Echantillon	Teneur	Echantillon	Teneur
BSM	31,26 ±0,09	OSM	46,05 ±0,17
BM	23,24 ±0,11	OM	48,85 ±0,36
BSé	13,44 ±0,26	OSé	28,65 ±0,39
BDC	38,2 ±0,11	ODC	25,02 ±0,45
FSM	49,37 ±0,72	MSM	103,14 ±0,75
FM	90,4 ±0,55	MM	103,00 ±0,36
FSé	32,65 ±0,83	MSé	93,89 ±0,35
		MDC	88,65 ±1,14

Le **Tableau 5** montre que les teneurs maximales du maltose libéré en présence de l' α -amylase pancréatique sont comprises entre 103,14 ±0,36 et 13,44 ±0,26 mg/1g de farine. Les farines du Mermez de quatre régions d'étude ont donné les meilleures teneurs en maltose par rapport à tous les autres farines avec des valeurs supérieures à 88,65 mg équivalent en maltose par 1 g de farine. La valeur la plus élevée a été enregistrée dans la farine du Mermez de Sidi Makhoulouf. Par contre, les teneurs les plus faibles en maltose libérées ont été trouvées dans les farines du Blé de Sétif et M'sila. D'autre part, on a observé que les teneurs en maltose dans les farines du Frik sont toujours supérieures à celle dans les farines du Blé, et que les teneurs du maltose dans les farines du Mermez sont également toujours plus élevées que celle trouvées dans les farines de l'Orge, dans tous les échantillons étudiés.

Cette hétérogénéité de résultats pourrait être expliquée par le fait que les mécanismes métaboliques ayant lieu au cours de la maturation des graines du Blé et de l'Orge affectent

majoritairement la teneur et la composition chimique des amidons. Ces phénomènes sont étroitement liés surtout aux aspects cellulaires et aux facteurs externes tels que la température et le sol. Il est également clairement que les hydrates de carbone qui évoluent au cours de la maturité par des enzymes spécifiques, peuvent influencer la composition chimique des farines. Alors, les graines immatures peuvent renfermer des unités en sucres réducteurs qui peuvent en conséquence influencer le résultat du dosage du maltose libéré après hydrolyse enzymatique. Toutefois, il serait intéressant de faire une analyse phytochimique des farines étudiées pour répondre à toutes ces constatations.

Pareillement, nous avons dosé le glucose libéré dans les extraits d'amidon pour une quantité fixée de farine pour les quinze échantillons en se basant sur la courbe d'étalonnage du glucose (**Figure 6**).

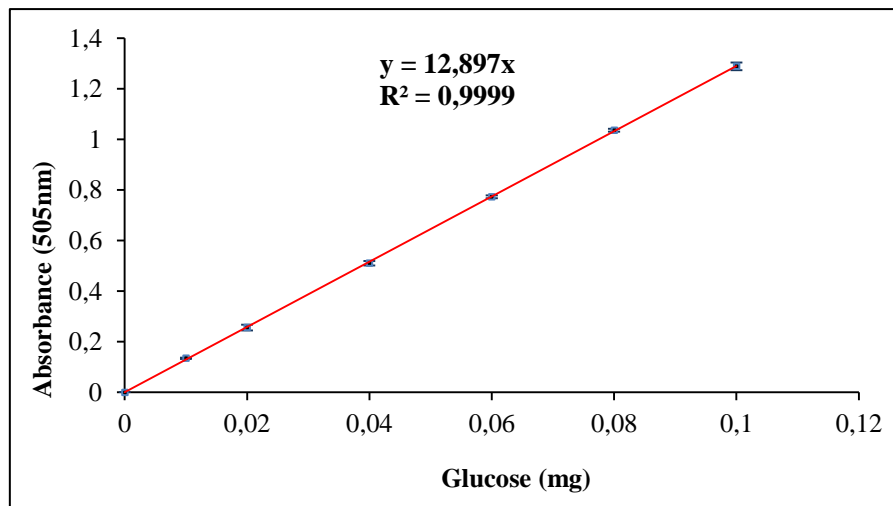


Figure 6 : Courbe d'étalonnage du glucose

Les teneurs en glucose libéré après incubation dans 37°C pendant 4 heures dans les quinze échantillons sont mentionnées le **Tableau 6**.

Tableau 6 : Les teneurs du glucose en mg/ g de farine

Echantillon	Teneur	Echantillon	Teneur
BSM	1,43 ±0,01	OSM	2,08 ±0,01
BM	5,15 ±0,11	OM	2,82 ±0,03
BSé	2,90 ±0,01	Osé	2,16 ±0,05
BDC	2,88 ±0,05	ODC	2,15 ±0,02
FSM	0,41 ±0,01	MSM	0,59 ±0,01
FM	0,49 ±0,03	MM	1,24 ±0,01
FSé	0,50 ±0,01	MSé	4,04 ±0,13
		MDC	0,59 ±0,01

A partir du **Tableau 6**, on remarque que tous les farines testées sont capables de libérer le glucose. Ainsi, les teneurs maximales sont comprises entre 5,15 ±0,11 et 0,41 ±0,01mg de glucose/1g de farine. Les résultats obtenus montrent l'influence de la source de farine utilisée sur la teneur du glucose libéré.

De même, les teneurs les plus grandes ont été obtenues pour la farine de Blé de M'Sila suivi par la farine de Mermez de Sétif. Cependant, les farines de l'Orge de tous les échantillons ont donné des teneurs en glucose similaires. Par contre, les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans les farines de Frik de toutes les régions.

Par ailleurs, les résultats obtenus montrent que la quantité de glucose libéré par l' α -amylase est très faible par rapport à la quantité du maltose. Ce résultat peut être expliqué que l'enzyme α -amylase n'est pas spécifique à la production du glucose, le glucose libéré de l'hydrolyse aléatoirement d' α -amylase. Cela explique qu'au moment où l'enzyme α -amylase produit le maltose, elle libère quelque unité du glucose. En générale les ramifications de l'amylopectine sont la source des unités en glucose [30]. Donc, la différence de la quantité du glucose libéré peut être expliquée par la différence du pourcentage de l'amylopectine présents dans les quinze farines, par la différence d'affinité enzyme-substrat, mais aussi par la présence du glucose dans les farines elles-mêmes.

III.3. Corrélations entre les teneurs en amidon, en maltose et en glucose

Le dosage d'un grand nombre d'échantillons par différentes méthodes produit une large matrice de données dont il devient difficile d'en extraire toute l'information. À cette fin, l'utilisation de la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) devient nécessaire pour faciliter l'interprétation des facteurs fondamentaux qui expliquent la variation des valeurs du dosage des échantillons et les méthodes utilisées. La distribution de variables dans une ACP est sous forme de nuage de points. Elle permet de différencier les groupes dans l'ensemble des variables en regardant celles qui se ressemblent et celles qui se distinguent des autres. C'est-à-dire, lorsque deux variables sont proches les unes par rapport aux autres, elles sont alors positivement corrélées. Si elles sont orthogonales les unes par rapport aux autres, alors elles sont non-corrélées. Si elles sont symétriquement opposées par rapport au centre, elles sont alors négativement corrélées [31, 32].

De ce fait, pour montrer l'existence ou pas de corrélation entre les teneurs en amidon, en maltose et en glucose dans les différentes farines étudiées, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) sur la matrice des 15 échantillons x 4 méthodes de dosage. Tout d'abord, pour déterminer celles fournissant des informations similaires (donc redondantes) et celles qui donnent des informations complémentaires, nous avons calculé la matrice de corrélation entre les 4 méthodes de dosage étudiées (**Tableau 7**).

Tableau 7 : Matrice des coefficients de corrélation de Pearson (r) entre les valeurs provenant des quatre différentes méthodes de dosage.

	Amidon	Maltose (Extraits)	Maltose (Farines)	Glucose
Amidon	1			
Maltose (Extraits)	0,184	1		
Maltose (Farines)	-0,257	-0,290	1	
Glucose	-0,092	-0,146	-0,330	1

De manière générale, les teneurs en amidon, en maltose et en glucose des 15 extraits qui ont été évaluées sont faiblement corrélées (avec des valeurs de r entre celles-ci allant de 0,092 à 0,330). Le coefficient de corrélation le plus élevé a été observé entre les teneurs en maltose (Extraits) avec celle du glucose. Ce résultat suggère que les extraits de farines qui renferment 33 % du maltose exposent également le même pourcentage en glucose. En revanche, les autres plus faibles coefficients trouvés ($r < 0,30$), montre que les teneurs en amidon *versus* les

teneurs en maltoses et/ou en glucose et vice sont presque comparables et interchangeables dans la caractérisation des extraits en terme de leurs dosage phytochimique. Ces résultats suggèrent que les méthodes de dosage utilisées dans ce travail ne sont pas toutes suffisantes et cohérentes pour estimer la variation des teneurs en amidon, en maltose et en glucose, et qu'il y a des méthodes plus précises et d'autres complémentaires. En effet, il est préférable d'isoler les amidons des farines étudiées pour caractériser leurs teneurs exactes en phytoconstituants étudiés.

D'autre part et pour tenter de mieux identifier les principaux facteurs contribuant à la variation des teneurs en amidon, en maltose et glucose selon les échantillons et les méthodes utilisées, nous avons effectué dans notre deuxième partie expérimentale une analyse en composantes principales (ACP) à partir de la matrice de données des 15 extraits x 4 méthodes. Les résultats du plan factoriel de l'ACP sont représentés dans la **Figure 7**.

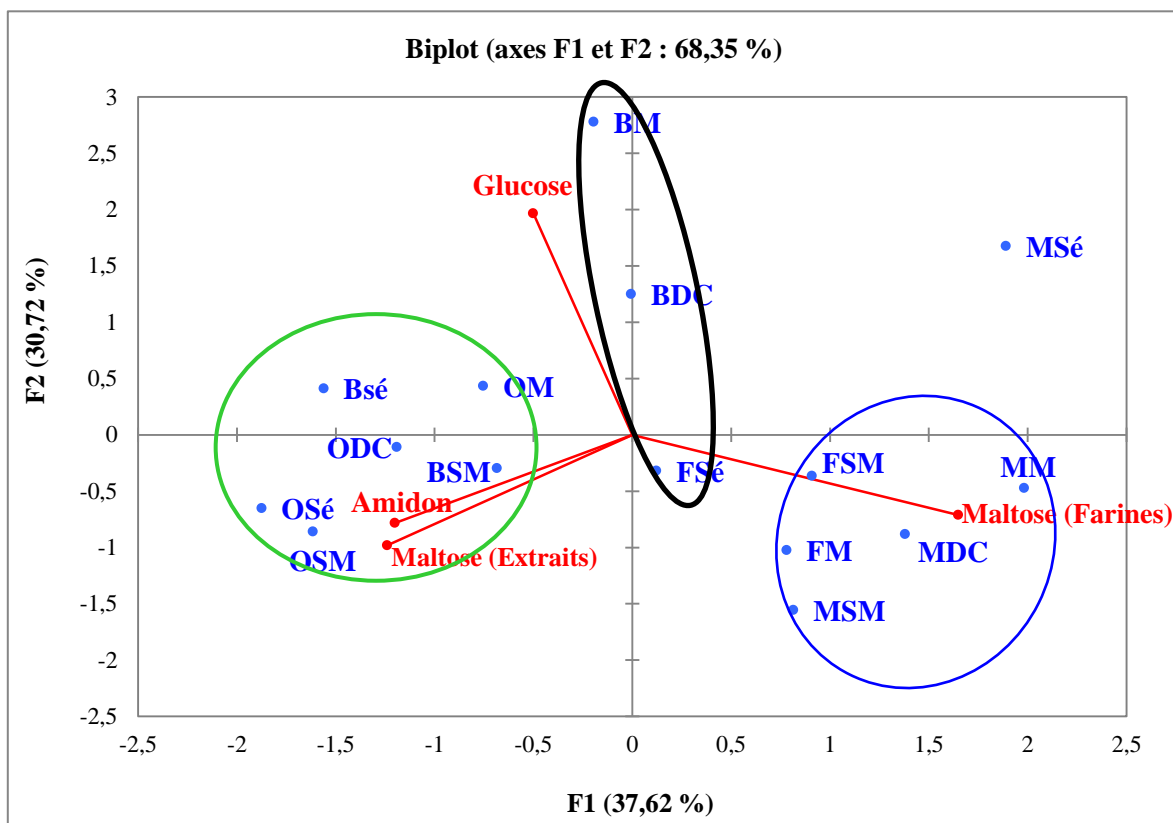


Figure 7 : Projections des variables et des individus dans le plan factoriel F1-F2.

Selon la **Figure 7**, les deux composantes principales expriment une variance totale de 68,35%. La première composante principale (F1), a une influence dominante, avec une expression de 37,62% de la variation totale. Il fait ressortir un gradient positif regroupant les deux variables étudiées du maltose (0,39 et 0,69) et l'amidon (0,36). Tandis que, le variable

glucose s'exprime sur le deuxième axe (0,80) avec une variabilité de 30,72 % de la variance totale. Cependant, le plan représentant la projection des variétés sur les deux axes F1 et F2 révèlent une distinction claire entre les différentes farines étudiées. Les nuages de points des individus dans les plans factoriels (1, 2) (**Figure 7**) ne permettent pas d'apprécier de façon claire les effets des variables sur les grandeurs mesurées. Peu d'individus se distinguent véritablement des autres. En effet, tous les individus sont globalement distribués dans une zone proche de l'origine des axes, ce qui signifie que les différents essais réalisés ne présentent pas d'écarts importants laissant apparaître des familles distinctes de farines.

En examinant de plus près les projections des individus, on constate que les échantillons MSM, MDC, MM, FM et MSM (**Cercle bleu**) sont caractérisées par des teneurs élevées en maltose (Farines) et faibles en glucose. La majorité de ces échantillons se mont des Mermez. Le nuage de points (**Cercle vert**) est caractérisé par les échantillons ayants la même réponse en termes de teneurs en maltose en fonction de teneurs en amidon. Par contre, l'échantillon BM qui est caractérisée positivement par l'axe II, s'isole avec de faibles teneurs en amidon et en maltoses, mais avec la teneur la plus élevée en glucose. En revanche, la situation est moins nette pour les autres échantillons, ce qui confirme l'hétérogénéité en phytoconstituants analysés de l'espèce constatée. Pour ce nuage de points (**Cercle noir**), on remarque que les échantillons sont caractérisés par des teneurs élevées en glucose mais variables en maltose et en amidon. Ces variations pourraient être d'origine génétique ou environnementale.

D'autre part, l'axe F1 présente une corrélation significativement positive avec les variables MM (1,98), MSé (1,89) et MDC (1,38), l'axe F1 est corrélé négativement avec les variables OSé (-1,87), OSM (-1,61) et BSé (-1,51). Ce résultat suggère que ces échantillons renferment des teneurs élevées en maltose mais, avec des teneurs en amidon faibles. D'autre part, l'axe F2 qui exprime une variabilité de 30,72 % est très corrélé positivement avec BM (2,78) et MSé (1,68). L'échantillon FSé est le variable le moins corrélé avec les deux axes (0,12 ; -0,32), ce qui justifie sa faible richesse en amidon, en maltose et en glucose. Alors, il est susceptible d'avoir des effets positifs sur la réduction de la teneur glycémique postprandiale.

En conclusion, l'A.C. P nous a permis de visualiser graphiquement les informations contenues dans un tableau de résultats de dimensions importantes. En raison d'une mauvaise distribution des individus dans l'espace de projection, il n'est pas possible d'établir de relations liant les différents paramètres du dosage avec la nature ou l'origine des farines investiguées. Il a permis également, de démontrer que le dosage des amidons et des sucres réducteurs dans les

farines investiguées dépend de plusieurs facteurs, dont bien entendu la source des amidons, qu'à leur nature diversifiée, avec des propriétés hydrophile ou hydrophobe, et de leur mécanisme d'action avec l' α -amylase. Toutefois, il faut prendre en compte que cette ACP représente la distribution du dosage 15 farines seulement. Ainsi, ce petit nombre d'échantillons pourrait modifier les conclusions de l'ACP, en mettant en évidence un facteur potentiel non révélé par ces farines.

Conclusion générale

IV. Conclusion générale

En Algérie, le Blé dur et l'Orge sont consommés sous plusieurs formes, essentiellement le couscous, les pâtes alimentaires et le pain. Cette importance alimentaire a suscité notre attention et a fait l'objet de cette étude en vue de valoriser 15 échantillons de farines du Blé dur, du Frik, d'Orge et du Mermez dans le domaine des aliments diététiques antidiabétiques. De ce fait, le travail a consisté en un dosage des amidons ainsi que la connaissance des teneurs en maltose libéré et en glucose après leurs hydrolyses enzymatiques par l' α -amylase pancréatique du porc.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en amidon trouvées ont été très faibles par rapport à celles déjà reconnues pour le Blé et l'Orge (> 600mg de glucides/g de farine). Cela pourrait être dû aux méthodes d'extraction utilisées dans notre travail, ainsi que la composition et la structure du grain et notamment la composition des protéines. Les teneurs des amidons sont variables entre les différentes farines des céréales investiguées. La teneur la plus élevée est constatée dans la farine du Blé de Sidi Makhoulouf. Tandis que, la teneur la plus faible a été enregistrée pour la farine de Frik de Sidi Makhoulouf.

Par ailleurs, l' α -amylase pancréatique de porc a été capable d'hydrolyser les amidons de tous les échantillons investigués. Les résultats de la cinétique d'apparition du maltose étudié ont montré l'influence de la source de l'amidon (farine) sur l'hydrolyse enzymatique en sucres réducteurs équivalents en maltose et en glucose. Ainsi, la faible affinité de l'action amylolytique est obtenue pour la farine du Frik de Sétif. Elle est 5 fois inférieure à celle trouvée pour la farine du Mermez du M'Sila. Elle a également présenté une cinétique amylolytique lente avec des quantités en sucres réducteurs et en glucose faibles. Cela suggère que le Frik de Sétif est susceptible d'avoir des effets positifs sur l'amélioration de la réponse glycémique postprandiale et sur la fonction du côlon en ralentissant la vidange gastrique.

Enfin, ces résultats mériteraient d'être approfondis et ce travail n'est cependant pas encore terminé, les prochaines étapes consisteront à étudier expérimentalement *in vitro* et/ou *in vivo* :

- L'action amylolytique sur les amidons isolés des différentes variétés étudiées du Blé, d'Orge, du Mermez et du Frik.
- L'effet inhibiteur de deux enzymes, l' α -amylase et l' α -glucosidase par les différents extraits des sons.

- L'étude *in vivo* de l'effet hypoglycémiant des amidons et des sons des graines du Blé, Orge, Frik et Mermez.

Références bibliographiques

V. Références bibliographiques

- [1] : FAO. (2021). Les marchés mondiales des céréales s'orientent vers une production record en 2021-2022. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>.
- [2] : E-Bourse (Plateforme Francophone Dédiée A L'économie Algérienne). (2019). La production céréalière de la saison 2018-2019: « un niveau historique ». <http://bourse-dz.com/la-production-cerealiere-de-la-saison-2018-2019-un-niveau-historique/>.
- [3] : Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., & Khechimi, W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. CIHEAM-IAMM - Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.
- [4]: Mekhlouf, A., Dehbi, F., Bouzerzour, H., Hannchi, A., Benmahammed, A., & Adjabi, A. (2006). Relationships between cold tolerance, grain yield performance and stability of *durum* wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes grown at high elevation area of Eastern Algeria. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5, 700-708
- [5]: Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, L., Zerargui, H., Benmahammed, A., & Bouzerzour, H. (2010). Performances comparées des variétés de blé dur : Mohammed Ben Bachir, Waha et Boussalam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture*, 54, 23-28.
- [6] : Sassi, K. (2008). Contribution à l'étude de 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*. Université 7 Novembre Carthage, Tunisie.
- [7] : Khelfallah, A. (2013). Etude comparative du contenu phénolique et du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales et des céréales alimentaires. *Magister*, Université Constantine 1 (ex Mentouri), Algérie.
- [8]: Ogunsona, E., Ojogbo, E., & Mekonnen, T. (2018). Advanced material applications of starch and its derivatives. *European Polymer Journal*, 108, 570-581.
- [9]: Cornejo-Ramírez, Y. I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. J. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA-Journal of Food*, 16, 1003-1017.
- [10]: Tesfaye, A., S. Wongchaochant, T. Taychasinpitak and O. Leelapon. (2012). Dry a matter content, starch content and starch yield variability and stability of potato varieties in Amhara Region of Ethiopia. *Kasetsart Journal (Natural Sciences)* 46, 671-683.
- [11]: Herrero-Martínez, J. M., Schoenmakers, P. J., & Kok, W. T. (2004). Determination of the amylose-amylopectin ratio of starches by iodine-affinity capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1053(1-2), 227-234.
- [12] : Bouquelet, S. (2016) : Cours des polysaccharides alimentaires. Université de Lille, France.
- [13]: Eliasson, A. C. (1988). Physical and chemical characteristics of legume starches. *Isi Atlas of Science-Animal & Plant Sciences*, 1, 89-94.
- [14]: Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23, 85-112.

- [15]: Bertoft, E. (2017). Understanding Starch Structure: Recent Progress. *Agronomy*, 7, 1-29.
- [16] : Feillet, P. (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. Editions Quae. INRA, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France.
- [17] : Odilia I. Bermudez. (2018). Diabetes Mellitus; Diagnosis and Treatment in the Elderly. *Encyclopedia of Endocrine Diseases (Second Edition)*, 1, 133-140
- [18] : Fond, G., Lançon, C., Auquier, P., & Boyer, L. (2019). Prévalence de la dépression majeure en France en population générale et en populations spécifiques de 2000 à 2018 : une revue systématique de la littérature. *La Presse Médicale*, 48, 365-375.
- [19] : International Diabetes Federation, (2019).
- [20]: Cheng, A. Y., & Lau, D. C. (2013). The Canadian Diabetes Association 2013 clinical practice guidelines-raising the bar and setting higher standards!. *Canadian journal of diabetes*, 37, 137-138.
- [21] : Haddadi, M., & Hamrani, T. (2017). Activités amylolytiques et protéolytiques de certains champignons endophytes foliaires issus de l'ortie (*Urtica dioïca* L.. *Mémoire de Master*, Université Mouloud MAMMERRI-Constantine, Algérie.
- [22]: Xiao, Z., Storms, R., & Tsang, A. (2006). A quantitative starch? Iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities. *Analytical biochemistry*, 351, 146-148.
- [23]: Bernfeld, P., Homburger, F., Adams, R. A., Soto, E., & Van Dongen, C. G. (1986). Base-line data in a carcinogen-susceptible first-generation hybrid strain of Syrian golden hamsters: F1D Alexander. *Journal of the National Cancer Institute*, 7, 165-171.
- [24]: Dygert, S., Li, L. H., Florida, D., & Thoma, J. A. (1965). Determination of reducing sugar with improved precision. *Analytical biochemistry*, 13, 367-374.
- [25]: Didier, P. J., Phillips, J. N., Kuebler, D. J., Nasr, M., Brindley, P. J., Stovall, M. E., & Didier, E. S. (2006). Antimicrosporidial activities of fumagillin, TNP-470, ovalicin, and ovalicin derivatives *in vitro* and *in vivo*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 50, 2146-2155.
- [26]: Zobel, H. F. (1984). Starch gelatinization and mechanical properties. Starch Chemistry and Technology. Academic Press, London, UK.
- [27]: Mbougoung, P. D. (2009). Influence des amidons natifs ou acétylés de manioc et de pomme de terre sur les propriétés physico-chimiques et texturales du pâté de Boeuf (Bos indicus). *Thèse de Doctorat*, Institut National Polytechnique de Lorraine, France.
- [28] : Ammi, S., Houache, O. (2019). Evaluation *in vitro* de l'index d'activité amylolytique des amidons du blé dur (*Triticum turgidum*) et de l'orge (*Hordeum vulgare*). *Mémoire de Master*. Université Amar Thelidji, Laghouat.
- [29]: Wang, W., Jin, X., Zhu, Y., Zhu, C., Yang, J., Wang, H., & Lin, T. (2016). Effect of vapor-phase glutaraldehyde crosslinking on electrospun starch fibers. *Carbohydrate polymers*, 140, 356-361.

-
- [30]: Eichler, H. G., Korn, A., Gasic, S., Pirson, W., & Businger, J. (1984). The effect of a new specific α -amylase inhibitor on post-prandial glucose and insulin excursions in normal subjects and type 2 (non-insulin-dependent) diabetic patients. *Diabetologia*, 26, 278-281.
- [31]: Ilin, A., & Raiko, T. (2010). Practical approaches to principal component analysis in the presence of missing values. *The Journal of Machine Learning Research*, 11, 1957-2000.
- [32]: Holland S.M. (2019). Principal components analysis (PCA), Department of Geology, University of Georgia, Athens, 159-16.

ملخص:

تم التطرق خلال هذا العمل إلى دراسة مخبرية حول فعالية أنزيم ألفا أميلاز الخنزير في تفكيك نشاء طحين القمح، الشعير، الفريك والمرمز لأربعة مناطق. أوضحت نتائج دراسة استخلاص النشاء أن قيم المردود تتراوح بين 13,261% و1,356%، إذ سجل طحين كل من قمح وفريك سيدي مخلوف أعلى وأدنى قيمة على التوالي. أظهرت دراسة حركية التفاعلات الأنزيمية ظهور السكريات المرجعة (المالتوز) أن الأوقات اللازمة لثبات إنتاج المالتوز تتراوح بين 120 و400 دقيقة. من جهة أخرى، فإن أقل ألفة للتحلل النشوي بواسطة أميلاز كانت لطحين فريك سطيف كما أظهر هذا الطحين حركية بطيئة وكميات منخفضة من الجلوكوز. هذه النتيجة تدل على الآثار الإيجابية لطحين فريك سطيف في تحسين نسبة السكر في الدم بعد الأكل، وكذلك على وظيفة القولون عن طريق إبطاء إفراغ المعدة.

الكلمات المفتاحية: قمح، فريك، شعير، مرمز، نشاء، مالتوز، داء السكري، طحين، الألفا أميلاز.

Résumé :

Ce travail a étudié *in vitro* l'efficacité de l' α -amylase pancréatique du porc sur la dégradation des amidons dans les farines du Blé, d'Orge, du Mermez et du Frik de quatre régions. L'extraction de l'amidon a montré des rendements d'extraction qui varient entre 1,356% et 13,261%. Les farines du blé et du Frik de Sidi Makhoul ont enregistré les teneurs en amidons les plus élevées et les plus faibles, respectivement. La cinétique d'apparition des sucres réducteurs (maltose) a montré que les temps nécessaires pour la stabilisation de la production de maltose sont variés de 120 à 400 minutes. D'autre part, la faible affinité de l'action amylolytique est obtenue pour la farine du Frik de Sétif. Elle a également présenté une cinétique amylolytique lente avec des quantités en sucres réducteurs et en glucose faibles. Cela suggère que le Frik de Sétif est susceptible d'avoir des effets positifs sur l'amélioration de la réponse glycémique postprandiale et sur la fonction du côlon en ralentissant la vidange gastrique.

Mots-clés : α -amylase, Blé, Orge, Mermez, Frik, Amidon, Maltose, Diabète, Farine.

Abstract:

This work studied the *in vitro* efficacy of porcine pancreatic α -amylase on starch degradation in Wheat, Barley, Mermez and Frik flours from four regions. The extraction of starch has shown extraction yields varying between 1.356% and 13.261%. Sidi Makhoul's Wheat and Frik flours recorded the highest and lowest starch contents, respectively. The kinetic of the reducing sugars (maltose) liberation showed that the required times for enhanced maltose production varied from 120 to 400 minutes. On the other hand, the lowest affinity of the amylolytic action was obtained for Sétif's Frik flour. It also exhibited slow amylolytic kinetic with low amounts of reducing sugars and glucose. This result suggests that Sétif's Frik may have beneficial effects on postprandial glycaemia and might slow gastric emptying.

Keywords: α -amylase, Wheat, Barley, Mermez, Frik, Starch, Maltose, Diabetes, Flour.
