

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE  
L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE  
EN SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE

Filière: Sciences Alimentaires  
Spécialité: Nutrition et Contrôle des Aliments

**Thème:**

## **Valorisation du Maïs et de ses sous produits à caractère Nutritionnel**

Présentée par:

BOUZOUIDJA AMEL

BOUZOUIDJA ABDELKARIM

Devant le jury composé de :

Mr.	S.A. RAMDANE	Maitre assistant A	USDB	Président
M <sup>me</sup>	A. DOUMANDJI	Maître de conférences A	USDB	Promotrice
Mr.	D. AMALOU	Maitre assistant A	USDB	Examineur
Mr.	T. HADJ SADOK	Maître de conférences B	USDB	Examineur

**ANNEE UNIVERSITAIRE: 2010 – 2011**

## DEDICACE

A celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes...

A mon regretté  
Père.

A celle qui a attendu et attend toujours avec patience les fruits de sa bonne éducation...

A ma Mère.

*B. AbdelKarim*

## REMERCIEMENTS

Les remerciements constituent un exercice à la fois plaisant et délicat. Plaisant car ils sont synonymes de chemin parcouru et de travail accompli en plusieurs mois. Plaisant également car ils permettent de remercier ceux qui m'ont soutenu, chacun à leur manière, durant toute la période de mon travail.

Délicat car il ne faut oublier personne. Aussi, je me permets de remercier en avance ceux qui, d'aventure, auraient été oubliés.

La première personne que je tiens nommément à remercier ma promotrice DOUMANDJI Amel pour avoir accepté de diriger ce travail, pour les conseils prodigués, la confiance accordée ainsi que pour son soutien et ses encouragements.

Je souhaite d'une manière plus générale remercier toute l'équipe du Laboratoire ONAB Trade auprès de laquelle j'ai beaucoup appris au cours de ces dernières années, et ce dans un climat appréciable d'harmonie et de cordialité. Je pense tout particulièrement à REGGUEM Hanane, ZEROUK Elzbieta, RAMDANI Amel, METAHRI Djamilia, BENGUERINE Nadia, LALLEM Souhila et DJEROUD Souad.

Je tiens également à transmettre mes remerciements aux Président du jury Mr RAMDANE Sid-Ali ainsi qu'à Messieurs HADJ SADOK Tahar et AMALOU Djamel pour avoir accepté d'être membres du jury.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude a mon frère Bedredine, sa femme Meriem et ses filles qui m'ont aidé et soutenu au cours de mon travail et particulièrement lors de la collecte des échantillons. Sans oublier de remercié mes frères et sœurs : Hassina, Ahmed, Yacine, Zakia, Mokhtar, mes beaux frères et belles sœurs ainsi leurs enfants qui ont adouci ma tâche en égayant mon quotidien.

Finalement j'adresse un grand merci à toute ma famille qui m'a toujours apporté son soutien indéfectible, en particulier et spécialement ma mère, ma chère épouse Sara, mes filles Meriem et Amina ainsi mon fils Abdelkader Mohamed Amine.

*B. AbdelKarim*

## Résumé

Classée première céréale produite dans le monde, « le Mais » détient une valeur tant nutritionnelle qu'économique.

Ce travail s'illustre pour mieux valoriser cette importante céréale et deux de ses sous-produits à savoir « le son et l'amidon de maïs », et ce, après la détermination des différentes caractéristiques physico-chimiques par le dosage de leurs principaux composants, en l'occurrence : Les protéines, les matières grasses, la cellulose et les glucides (sucres et amidon) résultats qui ont révélé une similitude satisfaisante pour valoriser ses sous produits. Mais aussi en s'assurant de sa qualité sanitaire microbiologique qui s'est avérée positive. Et enfin, calculer la valeur énergétique de chaque produit.

Les résultats physico-chimiques obtenus ont démontré que cette céréales d'été et ses sous produits sont des produits énergétiques dont les valeurs oscillent entre 341 et 391 Kcalories/100g. Ces valeurs sont dues à la forte présence de glucide représenté principalement par l'amidon natif dans l'ensemble des échantillons, ainsi qu'à la présence de protéines dans le maïs et le son de maïs et un taux de matière grasse moins élevées.

**Mots clé:** Maïs –Son de maïs – amidon - valeur énergétique – nutritionnelle.

## **Abstract**

Classified first cereal produced in the world, " Corn " holds(detains) value so nutritional as economic.

This work becomes to value better this important cereal and two of its by-products " the sound and the starch of corn ", after the determination of the various physico-chemical characteristics by the dosage of their main components, in this particular case: proteins, fats, cellulose and carbohydrates (sugars and starch) results which revealed a satisfactory resemblance to value these by produced. Also by making sure of there microbiological sanitary quality which turned out positive. And finally, calculate the energy value of each product.

The obtained physico-chemical results demonstrated that this cereal and its by-product are energy products the values of which oscillate between 341 and 391 Kcalories / 100g. These values are due to the strong presence of carbohydrate represented mainly by the native starch in the whole of samples, as well as in the presence of proteins in him(it) but and the sound of but and a rate of fat less high.

**Keywords:** corn - sound of corn - starch - energy value - nutritional.

## المخلص

تحتل الذرى المرتبة الأولى في الإنتاج العالمي للحبوب. كما أنها ذات قيمة غذائية و اقتصادية. هذا العمل يهدف إلى تقييم هذا النوع من الحبوب و اثنين من منتجاتها الثانوية (نخالة و نشاء). و هذا بعد تحديد الخصائص الفيزيو كيميائية لأهم مكوناتها منها (البروتينات، الدسم و السكريات ) النتائج كانت مرضية فيم يخص تقييم هذه المنتجات. من جهة أخرى اهتمنا بالتحاليل الميكرو بيولوجية التي أعطت نتائج ايجابية . و في الأخير قمنا بحساب الطاقة لكل منتج . النتائج الفيزيو كيميائية المتحصل عليها بينت أنّ الحبوب الصيفية و مشتقاتها تمثل منتوجات طاغوية حيث إن النتائج كانت محصورة بين 341 و 391 كيلو حريرة /100غ. هذه النتائج تبين قيمة السكريات المرتفعة في النشاء كما انه تمّ وجود نسب من البروتينات في كل من الذرى و النخالة أما بالنسبة للمادة الدسمة فهي بأقل نسبة.

## مصطلحات المفتاح:

ذرى، النخالة، النشاء، الطاقة، التغذية.

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>4</b>
<b>PREMIERE PARTIE : Etude bibliographique</b>	<b>7</b>
<b>CHAPITRE I : Le maïs</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE II : Les sous-produits du maïs</b>	<b>22</b>
<b>CHAPITRE III : Importance du maïs et ces sous produits</b>	<b>30</b>
<b>DEUXIEME PARTIE : Etude expérimental</b>	<b>36</b>
<b>CHAPITRE I : Matériels et méthodes</b>	<b>37</b>
<b>CHAPITRE II : Résultats et discussions</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>54</b>
<b>ANNEXE 01 : Appareillage et réactif</b>	<b>57</b>
<b>ANNEXE 02 : Mode Opérateur</b>	<b>61</b>

## Liste des figures

### Etude bibliographique:

<b>Figure 1 -</b>	Les plus grand importateurs de maïs dans le monde en 2010/2011 .....	<b>11</b>
<b>Figure 2 -</b>	Schéma de la filière maïs .....	<b>14</b>
<b>Figure 3 -</b>	Composition morphologique du grain de maïs.....	<b>16</b>
<b>Figure 4 -</b>	Composition chimique du grain de maïs.....	<b>17</b>
<b>Figure 5 -</b>	Grains d'amidon de maïs .....	<b>18</b>
<b>Figure 6 -</b>	distribution du poids (%)/ structure.....	<b>20</b>
<b>Figure 7 -</b>	Schéma générale de l'amidonnerie du maïs par voie humide.....	<b>25</b>
<b>Figure 8 -</b>	Les utilisations de la plante de maïs .....	<b>29</b>
<b>Figure 9 -</b>	Les différents constituants de la plante fourragère .....	<b>31</b>



## Liste des Tableaux

### Etude bibliographique:

<b>Tableau 1 -</b>	Production mondiale de maïs, 1990-2009 .....	<b>10</b>
<b>Tableau 2 -</b>	la classification botanique du maïs .....	<b>15</b>
<b>Tableau 3 -</b>	Composition chimique approchée des différents types de maïs (%)..	<b>18</b>

### Etude expérimentale :

<b>Tableau 4 -</b>	Tableau d'échantillonnage .....	<b>39</b>
<b>Tableau 5 -</b>	Tableau des résultats d'analyses physico-chimiques .....	<b>47</b>
<b>Tableau 6 -</b>	Résultat des analyses microbiologiques .....	<b>52</b>

## Abréviations et acronymes

<b>%</b>	pourcentage
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>Abs</b>	Absence
<b>BOA</b>	Bank Of Africa.
<b>CECAM</b>	Caisse d'Épargne et de Crédit Agricole Mutuels.
<b>CIRVA</b>	Circonscription de la Vulgarisation Agricole.
<b>CMS</b>	Centre Multiplicateur de Semences.
<b>CNRC</b>	Conseil national de recherche canada
<b>da</b>	Dinard algérien
<b>DDGS</b>	Distillers dried grain with soluble
<b>FAFAFI</b>	FanentananaFambolenaFiompiana.
<b>FAO</b>	Food and agricultural organizational
<b>g</b>	Gramme
<b>ha</b>	Hectare
<b>ISO</b>	Organisation internationale de normalisation
<b>j</b>	Jour
<b>JORA</b>	Journal officielle de la république algérienne
<b>Kcal</b>	Kilocalorie
<b>Kg</b>	Kilogramme
<b>Kj</b>	Kilojoule
<b>mm</b>	Millimètre
<b>MS</b>	Matiere seche
<b>NA</b>	Norme algeriene
<b>nf</b>	Norme française
<b>ONAB</b>	Office national d'alimentation de betail
<b>P</b>	Prévision
<b>q</b>	Quental
<b>T</b>	Tonne
<b>USA</b>	Les Etats-Unis d'Amérique
<b>V</b>	Voire
<b>AGPM</b>	Association Générale des Producteurs de Maïs

<b>ITEB</b>	Institut Technique de l'Elevage Bovin
<b>ITCF</b>	Institut Technique des Céréales et des Fourrages
<b>hl</b>	Hectolitre
<b>g</b>	Gramme
<b>IGP</b>	
<b>CUD</b>	Coefficient d'utilisation digestive
<b>UE</b>	

# **INTRODUCTION**

## **GENERAL**

## **Introduction**

La situation alimentaire des pays en développement n'est pas uniforme. Alors que certains d'entre eux ne parviennent pas à satisfaire leurs besoins et voient leurs économies lourdement grevées par le coût des importations, d'autres atteignent l'autosuffisance et doivent la gérer au mieux. De plus, à l'intérieur même de chaque état, de fortes disparités existent entre régions aux potentialités inégales **(Cruz *et al.*, 1988)**.

En Algérie Actuellement, les besoins en maïs sont couverts par les importations. En 2009, l'Algérie en a acheté 2,2 millions de tonnes, selon le Conseil international des céréales qui classe l'Algérie parmi les principaux pays importateurs de maïs. Cette céréale est un principal intrant pour la fabrication d'aliments de bétail et de volaille. Selon ce même organisme, le pays avait importé la même quantité en 2008. En l'espace de deux décades, les importations de maïs ont été multipliées par plus de 10000 fois **(Anonyme 1, 2010)**.

Dans le cadre de la nouvelle politique agricole destinée à réduire les importations, l'Algérie tente d'élargir la gamme de sa production de céréales. Après le blé et l'orge, le ministère de l'Agriculture envisage de produire localement une grande part du maïs consommé et aller, éventuellement, vers l'autosuffisance à long terme **(Anonyme 2, 2010)**.

Soulignons, enfin, que ce retour à la culture du maïs est d'autant plus souhaité de par les impératifs de notre sécurité alimentaire.

Le maïs, aux grandes qualités d'adaptation climatique, est désormais cultivé sur les 5 continents, où chaque pays suit ses propres méthodes. C'est même la plante la plus cultivée au monde. En effet, elle est non seulement une nourriture incontournable pour les animaux d'élevage mais en plus elle représente la base de l'alimentation humaine, notamment au Mexique et en Afrique centrale. Américains et Européens en sont également de gros consommateurs **(Anonyme 3, 2010)**.

Le maïs peut être valorisé aussi bien par son feuillage que par ses grains. La plante entière avant maturité est très riche en énergie exploitable par les ruminants. Elle peut être consommée verte ou conservée par fermentation grâce à l'ensilage.

Le grain est un aliment très complet. Il est constitué essentiellement d'amidon (environ 70 %) contenu principalement dans l'amande. Mais il renferme aussi (des

protéines environ 10%, des matières grasses environ 5%, des minéraux : calcium, phosphore et des vitamines.

Sa valeur nutritive dépend de sa digestibilité, variable selon la variété, les conditions de culture et de récolte, la qualité de la conservation, etc. **(Anonyme 2, 2009).**

Présent sous différents aspects dans de nombreux domaines de la vie quotidienne, le maïs est rarement identifié comme tel et pourtant, c'est une céréale dont les utilisations sont nombreuses. Si le maïs fourrage est utilisé pour l'alimentation du bétail, le maïs grain quant à lui possède de nombreux débouchés parmi lesquels la semoulerie, l'amidonnerie et la distillerie (Anonyme 1, 2009).

Les industries agroalimentaires transforment les grains pour obtenir différents produits tels que la farine, l'amidon, l'alcool et le sirop. Durant la transformation de ces grains, plusieurs sous-produits sont obtenus tels que le son, le germe, les drêches ...etc. **(Cameron, 2007).**

Les sous-produits agro-industriels qui sont relativement abondants dans le bassin méditerranéen pourraient contribuer davantage qu'ils ne le font actuellement à l'amélioration de l'alimentation du bétail dans la région **(Sansoucy, 1991).**

A cet effet, notre travail consiste à valoriser le maïs et ces sous-produits. Ce travail propose la méthodologie d'approche suivante :

- La première partie; c'est une présentation d'une recherche bibliographique qui sert à mettre en évidence l'importance de cette plante et ces sous-produits.
- La deuxième partie est consacrée aux méthodes d'analyses physico-chimiques et microbiologiques du maïs, de l'amidon, et du son de maïs, effectuée au niveau de l'unité laboratoire - ONAB Trade.
- La troisième partie concernant les résultats et discussions de nos essais, suivi par une conclusion.

**PREMIERE PARTIE :**

**ÉTUDE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I. Généralités sur les céréales**

Par céréale nous entendons l'ensemble des plantes annuelles cultivée en vue de l'obtention de graines à albumen amylacée : (blé, orge ; seigle, avoine ; maïs, Millet, Riz...).

On désigne aussi sous cette appellation les différentes espèces de plantes appartenant à l'embranchement des phanérogames et au sous embranchement des Angiospermes(**Calvel, 1984**).

Les céréales sont des plantes cultivées principalement pour leurs grains, ce sont des produits énergétiques contenant des sucres lents, des sels minéraux (fer, potassium, zinc..), des vitamines (B, A, C), des fibres en plus des protéines. En revanche, elles sont déficitaires en acides aminés essentiels tels que la lysine (**Mahmmoudi, 2009**).

En Algérie, la céréaliculture occupe une place prépondérante. Elle couvre une superficie avoisinant les 3 000 000 d'hectares soit 26 % de la superficie agricole utile(**Haddouche, 2008**).

En 2009, la production céréalière a dépassé les 61 millions de quintaux contre 17 millions de quintaux durant la saison précédente. Malgré cela, l'Algérie reste l'un des pays les plus importateurs surtout en matière de blé dur suivie du maïs(**Anonyme 3,2010**).



**CHAPITRE I :**

**LE MAIS**

## 1. I. Origine et historique

Lors de la découverte de l'Amérique ; le maïs était déjà une des cultures de base de l'agriculture des tribus indiennes de l'Amérique du sud ; et sur les territoires du Mexique et des Etats Unis actuels. De nombreuses formes peu différentes des variétés aujourd'hui cultivées ; y étaient déjà représentées.

Il est admis aujourd'hui que le maïs nous est venu d'Amérique (**Benzaghou, 1976**). L'origine de sa culture serait à rechercher sur les plateaux du Pérou; de la Bolivie et de l'Equateur; ou encore sur les plateaux du Mexique et de l'Amérique.

## II. Production et échanges commerciaux dans le monde

Dans le monde, les zones à haut rendement (supérieur à 50 q/ha) sont très limitées. Elles concernent principalement les Etats-Unis (où les rendements sont généralement plus élevés : 82 q/ha en 2002), et l'Europe avec notamment la France et l'Italie. Le rendement moyen du maïs dans le monde est de 43 quintaux à l'hectare.

Le maïs représente 41% de la production mondiale de céréales. C'est la plante la plus cultivée au monde et la première céréale produite, devant le blé. La production mondiale du maïs utilise 140 millions d'hectares à travers le monde, pour une production de 600 millions de tonnes (contre 570 millions de tonnes de blé, sur 210 millions d'hectares) (moyenne 2000 à 2003) (**Anonyme 1, 2011**).

Le tableau suivant représente l'évolution de la production mondiale de maïs durant les deux dernières décennies :

**Tableau 1 : Production mondiale de maïs « 1990-2009 ».**

<i>million de tonnes</i>	"1990"	"2000"	2007	2008	2009 p
Monde	<b>479,1</b>	<b>592,0</b>	<b>791,9</b>	<b>791,9</b>	<b>789,7</b>
<b>Alena</b>	214,0	280,0	366,4	343,0	360,2
<b>dont États-Unis</b>	194,0	252,0	331,2	307,4	328,2
<b>Mexique</b>	13,0	18,0	23,6	25,0	22,5
<b>Chine</b>	97,2	106,0	152,3	165,9	155,0
<b>Mercosur</b>	30,0	59,0	85,0	67,1	81,8
<b>dont Brésil</b>	24,0	42,0	58,6	51,0	51,0
<b>Argentine</b>	6,0	15,0	22,0	12,6	14,0
UE à 27	...	...	<b>48,6</b>	<b>63,3</b>	<b>59,4</b>
<b>dont UE à 15</b>	27,0	39,0	36,9	40,9	36,3
<b>dont France</b>	12,0	15,7	14,5	16,0	15,2
<b>Italie</b>	6,0	10,3	9,8	9,7	7,8
<b>Inde</b>	9,0	12,3	16,0	14,7	13,4

**Sources** : FAO, USDA, Eurostat, COCERAL, 2008

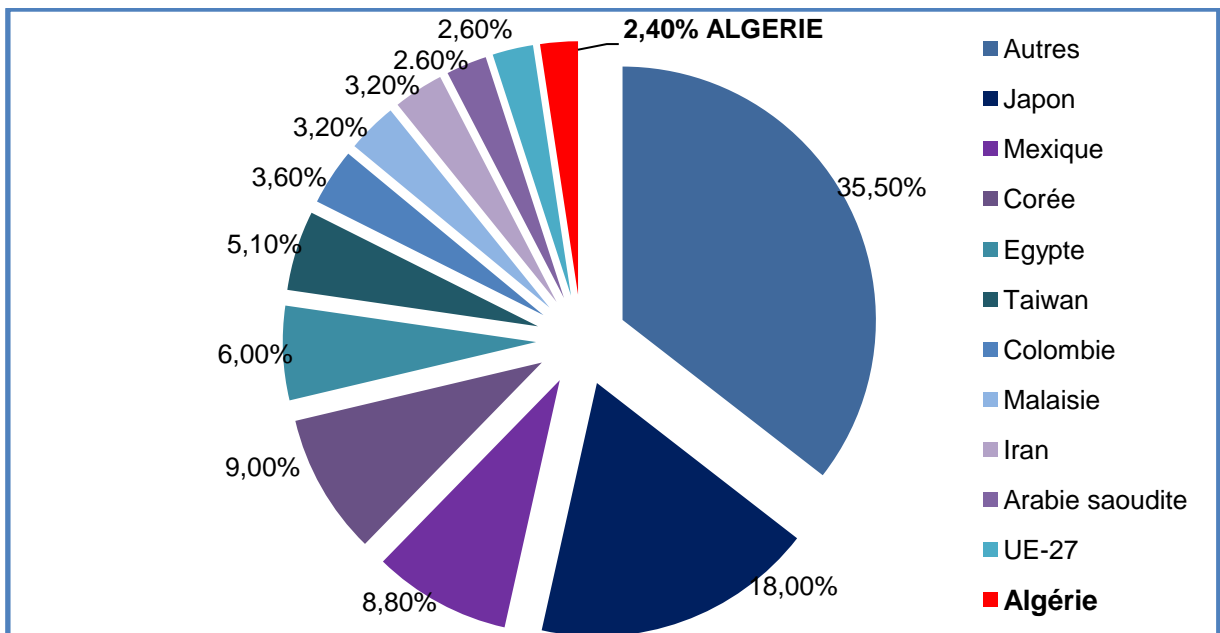
Pour la campagne 2011-2012 les prévisions sont de 860 millions de tonnes selon le département américain de l'agriculture en juillet 2011, soit plus de 27 000 kilos de maïs produits chaque seconde ou 2,3 milliards de kilos par jour.

### II.1. Les exportations du maïs

Sur les 75 millions de tonnes de maïs qui s'échangent en moyenne chaque année sur la planète, 60% environ sont américains (46 millions de T). L'Argentine suit, avec 11 millions de Tonnes exportées, puis viennent la Chine (10 millions de T) et le Brésil (4 millions de T) (**Anonyme 1, 2011**).

### II.2. Les importations du maïs

Selon le dernier rapport établi par l'IGP en septembre 2011, le 1er pays importateur de maïs est le Japon (18% des importations mondiales), suivi de la Corée et du Mexique. L'Algérie occupe la onzième place avec un taux de 2,40 % sur un total de 89,4 million de Tonnes, elle est considérée parmi les pays les plus grands importateurs de grain de maïs dans le monde (Voir la figure n°1) (**Anonyme 4, 2011**).



Source : Anonyme 4, 2011

Figure n° 1 Les plus grands importateurs de maïs dans le monde en 2010/2011

### III. Production et commercialisation du maïs en Algérie

La production du maïs en Algérie à exister depuis plus d'un siècle et demi. Selon les **(Statistique Générale et Annuaire de la Statistique de l'Algérie)** en 1854, on notait qu'en Algérie 5 076 ha de Maïs correspondant à une production de 81 617 hl. Au cours des années suivantes, les plantations s'étendirent assez rapidement pour atteindre en 1878 : 33 075 ha correspondant à une récolte de 70 265 q. Par la suite, on enregistre une régression assez rapide de la culture qui tombe à 13 109 ha (124 807 q) en 1886.

Depuis cette date on assiste à un abandon progressif du maïs par l'agriculture algérienne. Au cours de la période 1894-1916, la culture du maïs se maintient entre 11 000 ha en 1907 et 16 000 ha en 1895 correspondant à une production variant de 76 000 q en 1897 à 242 000 q en 1913. De 1916 à 1933, la culture du Maïs oscille autour de 10 000 ha à 8 000 ha en 1922 - 11 000 ha en 1926 pour tomber au cours des années suivantes de 7 685 ha en 1934 à parfois moins de 4 000 ha en 1946 **(Laumont, 1950)**.

Aujourd'hui, pour le développement de la culture du maïs en Algérie, selon notre source **(Sarah, 2010)**, plusieurs investisseurs et exploitants agricoles venus de France, du Canada, d'Italie, d'Espagne, du Qatar et d'Arabie Saoudite ont affiché, un fort intérêt pour l'exploitation des terres agricoles algériennes pour développer cette culture et sa commercialisation par la suite. L'Algérie ne serait pas hostile à une telle démarche dans le but d'améliorer ses récoltes en maïs et réduire ainsi le montant de la facture d'importation de cette denrée.

D'après **(Anonyme 2, 2011)**, Un projet pilote de plantation du maïs dans une exploitation agricole privée à Hassiane Toulal, à l'Est d'Oran, a donné satisfaction. Selon le président de la chambre agricole "Pour une première moisson, nous avons atteint un rendement 93 q/ha", cette performance a été meilleure que celle réalisée à El Bayadh, Mascara ou encore à Relizane. Appliquée sur une superficie de 9 ha, cette expérience qualifiée de "concluante".

A cet effet, la Direction des services agricoles envisage, dans le cadre de la promotion de cette culture, la plantation du maïs sur une superficie de 30 ha pour la campagne agricole 2011-2012 au niveau d'une ferme située à Oued Tlillet, une

région céréalière irriguée à partir des eaux traitées et épurées de la station d'El Kerma (**Anonyme 2, 2011**).

Actuellement, les besoins du pays en maïs sont couverts par les importations. En 2009, l'Algérie en a acheté 2,2 millions de tonnes, selon le Conseil international des céréales qui classe l'Algérie parmi les principaux pays importateurs de maïs. Cette céréale est un principal intrant pour la fabrication d'aliments de bétail et de volaille (**Anonyme 1, 2010**).

#### **IV. Filière maïs :**

La filière maïs consiste à créer des pôles maïsicoles au sein desquels tous les opérateurs concernés seront associés autour des objectifs communs qui serviront leurs intérêts individuels et communs ainsi que l'intérêt de la région et du pays. Chaque pôle aura une orientation stratégique liée spécifiquement à un des objectifs globaux tout en contribuant à la réalisation de l'ensemble des objectifs (**Anonyme, 2004**). La figure n°2 p 17, schématise les différents acteurs de la filière représentant la vie de la graine de maïs et ce de la semence au produit fini.

#### **V. Plante du maïs**

Le maïs ou *Zea mays* est une plante annuelle présentant des organes végétatifs très développés. Cette plante est une graminée à haute tige qui peut atteindre les cinq mètres (**Wyck, 1988**).

##### **V.1. Caractéristique morphologique de la plante**

Le maïs est une plante annuelle, monoïque, bisexuée. La tige est choit et haute de 2m à 5m et plus avec 8 à 25 nœuds. Les feuilles sont longues et fortement engainantes sur la tige. Elles portent des nervures parallèles.

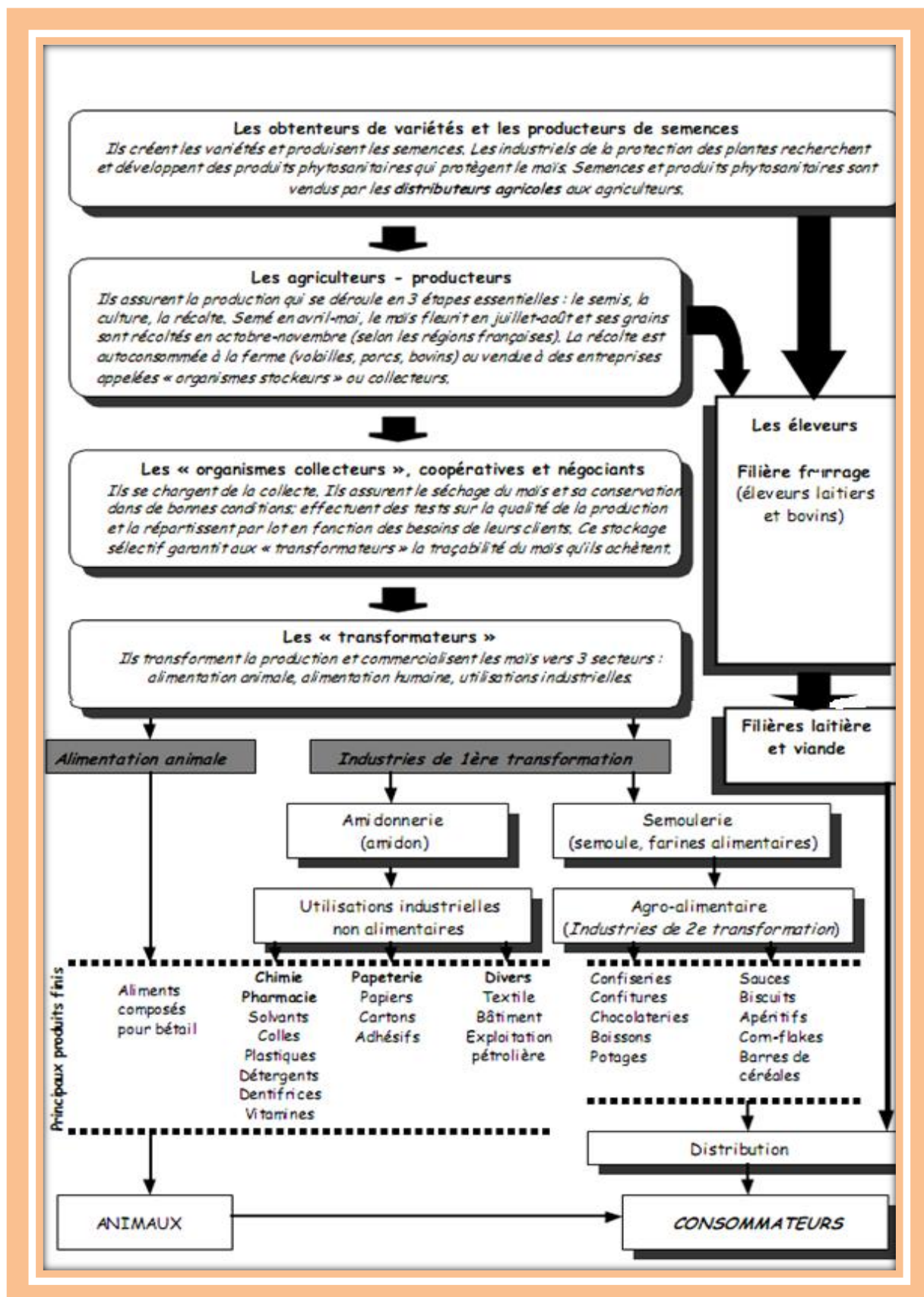
La taille des tiges varie également, de 30 - 40 cm environ pour le type Gaspée à plus de 10 mètres dans les régions tropicales comme au Mexique.

Selon les variétés, une seule semence peut produire de 1 à 14 tiges et chaque tige de quelques feuilles à une cinquantaine. Les grains eux mêmes accusent des différences importantes de volume, de couleur et de constitution de l'albumen (corné, sucré, farineux) (**Anonyme 3, 2011**).

Le maïs a deux types d'inflorescence : l'inflorescence mâle qui est une panicule qui se forme au sommet de la tige tandis que celle femelle se trouve à l'aisselle des feuilles moyennes.

Il s'agit d'un épi qui se compose d'une rafle renflée sur laquelle s'insèrent 200 à

1 200 fleurs femelles à longue soie communément appelées barbe et des spathes couvrant la rafle. Le système racinaire est fasciculé.



## V.2. Classification du maïs

Plus de 200 types de maïs répartis à la surface du globe présentent des cycles de végétation étonnamment divers, allant de 60 à 70 jours pour un type très précoce (Gaspée) jusqu'à 10 ou 11 mois pour des types tardifs de régions tropicales (Anonyme 3, 2011).

On compte aujourd'hui 219 espèces, comprenant chacune plusieurs dizaines ou centaines de variétés. Les botanistes les regroupent en 14 complexes (espèces ayant plusieurs caractères en commun). Parmi les plus importants, on trouve:

- Le groupe des coniques,
- Les dentés des Caraïbes,
- Les pop-corn,
- Les maïs sucré du nord de l'Amérique du Sud,
- Les farineux des terres basses américaines,
- Le groupe chapolote (considéré comme l'ancêtre des lignées du Mexique et USA),
- Les espèces du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, dont l'une est notamment utilisée pour les programmes d'amélioration en Afrique.

De nos jours, on utilise surtout les types hybrides, dont la majorité provient d'un croisement entre les espèces européennes à grains cornés et les nord-américaines, à grains dentés.

Ces nouvelles variétés présentent de nombreux avantages et permettent la modernisation de la production : elles offrent des rendements supérieurs et une meilleure résistance à la verse (Anonyme 4, 2010).

**Tableau 02 : La classification botanique du maïs**

<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Sous-règne</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>Division</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Classe</b>	<i>Liliopsida</i>
<b>Sous-classe</b>	<i>Commelinidae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Cyperales</i>
<b>Famille</b>	<i>Poaceae</i>
<b>Sous famille</b>	<i>Panicoideae</i>
<b>Tribu</b>	<i>Maydeae</i>

<b>Genre</b>	<i>Zea</i>
<b>Espèce</b>	<i>Zea mays</i>

**Source :** (Anonyme 3, 2009)

Plusieurs sous-espèces se distinguent les unes des autres par forme de leurs bractées et la surface des graines. En Afrique Occidentale, les sous-espèces les plus rencontrées sont :

- le maïs vitreux (*indurata*) : grains arrondis au sommet et comprimés sur les côtés, vitreux (maïs corné).
- Le maïs tendre : gros grains arrondis assez hygroscopiques, de conservation très difficile surtout en climat humide.
- Le maïs denté (*indentata*) : gros épis à grains oblongs présentant une dépression à leur extrémité supérieure.

### **V.3. Exigence pédoclimatique de la plante**

Le maïs pousse à des altitudes très variées, s'adapte à des climats aussi différents que ceux des régions semi-arides d'Amérique Centrale, d'Europe de l'Est, ou à des climats très humides d'Asie du Sud-Est (**Anonyme 3, 2011**).

Le maïs est une plante qui s'acclimate de milieux assez divers. Il est thermophile à jour court.

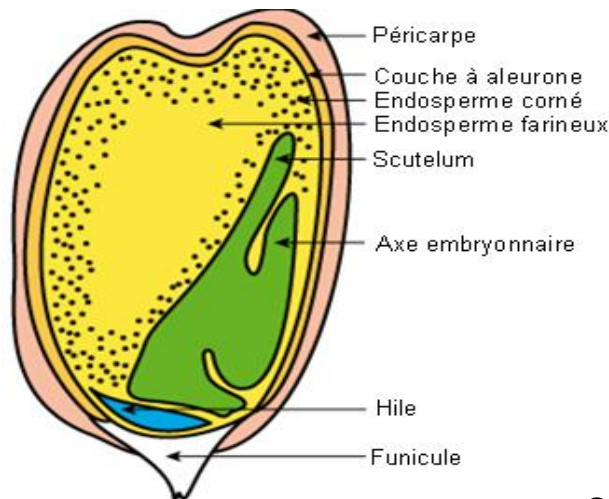
La température de germination est de 8 à 10°C. Les meilleures températures du semis à la formation des panicules sont de 20° à 28°C, celles de maturation des fleurs de 28° à 32°C.

La pluviométrie est d'environ 800 mm/an pour les variétés tardives (120 j) et de 600 mm/an pour les variétés précoces (90 j). Le sol doit être riche, bien drainé et exposé au soleil. Le ph des sols à maïs est 6 à 7,5.

## **VI. Graine du maïs**



## VI.1. Composition morphologique de la graine



Source : Anonyme, 2002

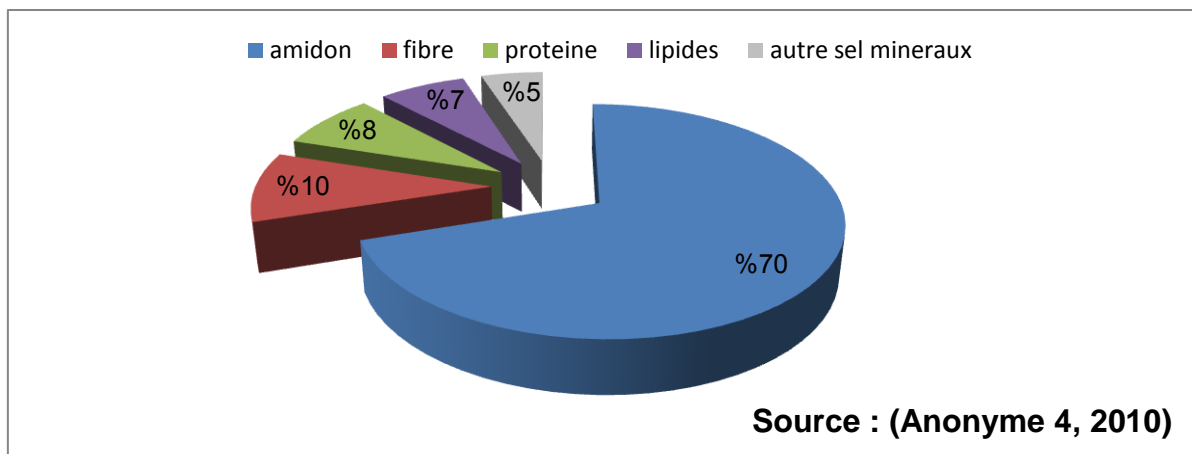
Figure n°3 : Composition morphologique du grain de maïs.

## VI.2. Qualité nutritionnelle

La composition chimique après transformation en vue de la consommation est un aspect important de la valeur nutritive; elle est affectée par la structure physique du grain, par des facteurs génétiques et environnementaux, par la transformation et autres maillons de la chaîne alimentaire. Dans ce qui suit, on s'attachera à décrire la nature chimique du maïs, pour mieux comprendre la valeur nutritive des différents produits tirés du maïs que l'on consomme dans le monde (Lunven, 1993).

## VI.3. Composition chimique de la graine de maïs

Le grain de maïs est constitué d'environ  $\frac{3}{4}$  de la matière sèche (Anonyme 4, 2010), cette proportion subit quelques variations suivant la teneur en éléments pariétaux. La teneur globale en amidon des grains de maïs est d'environ 70%, le grain est également constitué de 10% de fibres (ou enveloppe), de 8% de protéines (gluten) et de 7% de germes (lipides), le reste étant de l'eau et des sels minéraux.



**Figure n° 4 : Composition chimique du grain de maïs.**

Les principaux éléments nutritifs qui entrent dans sa composition présentent une grande variabilité. Le tableau n° 3 ci-dessous résume les principales données dont on dispose sur les différents types de maïs, empruntées à plusieurs publications. La variabilité constatée est à la fois d'ordre génétique et environnemental. Elle peut influencer sur la distribution du poids et la composition chimique de l'albumen du germe et du tégument des grains.

**Tableau 3: Composition chimique approchée des différents types de maïs(%)**

Type de maïs	Humidité	Cendres	Protéines	Fibres brutes	Extrait à l'éther	Glucides
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Cristallin	10,5	1,7	10,3	2,2	5,0	70,3
Farineux	9,6	1,7	10,7	2,2	5,4	70,4
Amylacé	11,2	2,9	9,1	1,8	2,2	72,8
Doux	9,5	1,5	12,9	2,9	3,9	69,3
Eclaté	10,4	1,7	13,7	2,5	5,7	66,0
Noir	12,3	1,2	5,2	1,0	4,4	75,9

Source: Anonyme, 2002

### VI.3.1. Les glucides

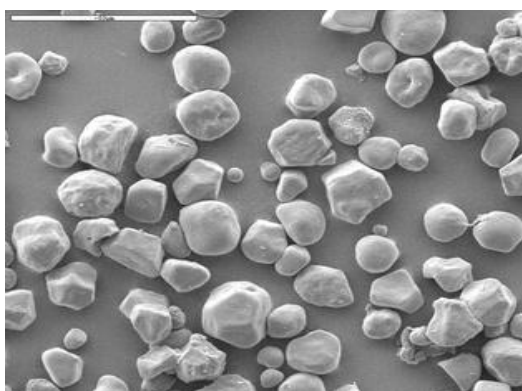
#### A. Amidon

C'est une poudre blanche très fine, elle gonfle dans l'eau au dessus de 80 °C. Elle est pratiquement insoluble dans l'eau froide et dans l'alcool. Elle forme une suspension colloïdale, qui donne une sorte de gelée (Le Hir, 2001).

C'est un aliment de stockage principalement pour les céréales (et les tubercules). C'est un polysaccharide se présentant sous forme de granules intracellulaires. Qui se compose de deux types de polymères, l'amylose et l'amylopectine. **(Benamouche et al., 2001)**

- **L'amylose** : constitue environ 20% de l'amidon ordinaire. Les groupes  $C_6H_{10}O_5$  une chaîne continue mais ondulée **(Genty, 1996)**.
- **L'amylopectine** : contient d'importantes ramifications de la chaîne principale.

Selon **Percheron, 1981**, L'amidon de maïs est localisé dans les cellules du parenchyme amylofère sous forme d'amyloplastés.



**Figure n°5** : Grains d'amidon de maïs. **Source : (Benamouche et al., 2001)**

Le rôle nutritionnel des amidons est particulièrement important :

- Puis qu'ils constituent, après hydrolyse digestive en glucose, la principale source de calories de l'alimentation.
- Le mélange avec des farines pour abaisser la teneur en protéines et la force boulangère
- Il a la propriété d'absorbée l'humidité sans prendre en masse: Il existe trois grandes catégories d'amidon :

**1. L'amidon natif** : produit brut, extrait sans modification de la molécule. Il a des propriétés alimentaire et technologique (liant, viscosifiant, gonflant), celles-ci varient en fonction de la proportion en amylose ou en amylopectine.

**2. L'amidon modifié** : transformé par voie thermique ou chimique, il acquiert une propriété particulière : une viscosité moindre, une plus grande fluidité, une purification accrue... L'emploi d'amidons modifiés dans les produits infantiles ou diététiques est limité par la législation. Certains de ces amidons présentent en effet une certaine résistance à la digestion

**3. Les hydrolysats** : obtenus par cassure de la molécule d'amidon, ils peuvent avoir un pouvoir sucrant. Il s'agit de glucose, maltodextrines, dextrose et des autres dérivés.

## **B. Autres glucides**

Lorsqu'il est mûr, le grain de maïs contient de petites quantités de glucides autres que l'amidon (**Lunven, 1993**).

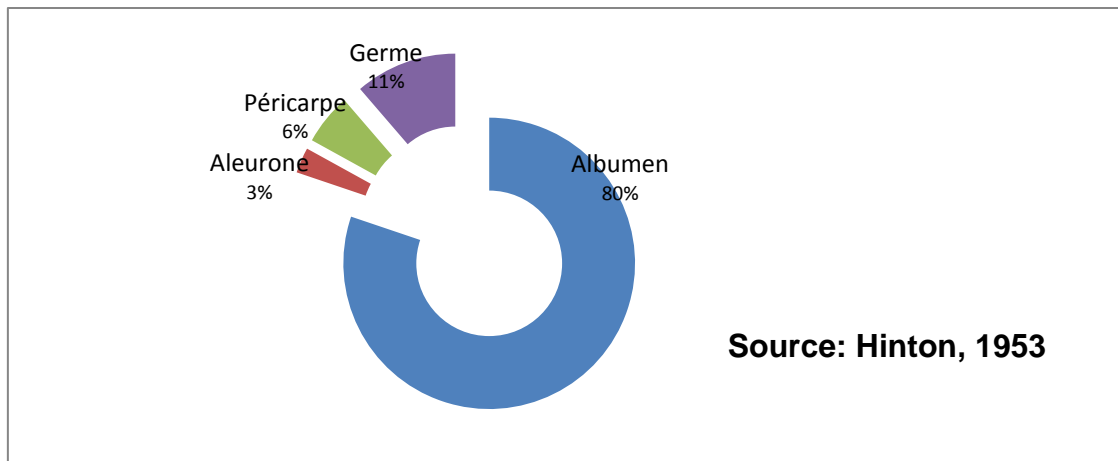
Les sucres totaux du grain (des sucres simples présents sous forme de glucose, de saccharose et de fructose) sont compris entre 1 et 3 pour cent, la saccharose, principal composant, se trouvant essentiellement dans le germe. On a constaté, par exemple, que les sucres avaient atteint un niveau de 9,4 pour cent du grain (extrait sec) dans des grains de 16 jours, mais que ce niveau diminuait sensiblement avec l'âge.

## **VI.3.2. Les protéines**

Dans les variétés courantes, la teneur en protéines varie d'environ 8 à 11 pour cent du poids du grain.

En remarque que la teneur en acides aminés des protéines du germe est très différente de celle des protéines de l'albumen. (**Watson, 1987**) Étant donné que Le germe fournit une certaine quantité de lysine et de tryptophane, qui sont les deux acides aminés indispensables limitant des protéines du maïs. Alors que l'albumen contient une part non négligeable de protéines de réserves fortement carencées en lysine et tryptophane.

Enfin, il existe une couche de cellules particulières situées à la partie externe de l'albumen au contact du péricarpe : c'est l'assise protéique ou couche à aleurone. Elle représente 2% environ du grain et est riche en protéines, plus de 20% (**Hinton, 1953**).



**Figure n° 6 : Distribution du poids (%) par structure**

### **VI.3.3. Les lipides (Huiles et acides gras)**

La teneur en huile du grain de maïs provient essentiellement du germe. Elle est déterminée génétiquement suivant la variété avec des valeurs étagées entre 3 et 18% (**Lunven, 1993**).

Obtention de l'huile les graines de maïs contiennent de 3 à 6,5 % (par rapport au grain sec) d'huile concentrée dans le germe, dont elle représente 40 à 50 % du poids. En fait, cette teneur dépend du procédé de dégermage choisi : par voie sèche (de 15 à 25 % d'huile) ou par voie humide (de 40 à 50 %). La composition de cette huile est Riche en vitamines A et E et Bonne source d'oméga-6 (**Pobeda, 2011**). Elle est très prisée du fait de sa composition en acides gras, acide oléique et acide linoléique pour l'essentiel. L'huile de maïs a une faible teneur en acides gras saturés, à savoir 11% d'acide palmitique et 2,7% d'acide stéarique.

En revanche, elle contient des niveaux relativement élevés d'acides gras polyinsaturés, essentiellement l'acide linoléique, avec une valeur moyenne d'environ 24%. (On n'a décelé que des quantités extrêmement faibles d'acide linoléique et d'acide arachidonique).

### **VI.3.4. Les éléments secondaires**

#### **A. Fibres alimentaires**

Les écarts entre les échantillons sont faibles entre la teneur totale en fibres alimentaires solubles et insolubles des grains de maïs.

Le son de maïs (extrait sec) se composait de 75 % d'hémicellulose, de 25 % de cellulose et de 0,1 % de lignine.

## **B. Sels minéraux**

La concentration des cendres dans le grain de maïs est d'environ 1,3%. Le germe est relativement riche en sels minéraux, avec une valeur moyenne de 11 pour cent contre moins de 1 % dans l'albumen. Il fournit environ 78 % des sels minéraux du grain entier. C'est le phosphore qui vient en tête, sous forme de phytate de potassiums suivi du magnésium. Le maïs a une faible teneur en calcium et en oligo-éléments (**Lunven, 1993**).

## **C. Vitamines**

### **- Vitamines liposolubles**

Le grain de maïs contient deux vitamines liposolubles:

- la provitamine A ou caroténoïdes, La plupart des caroténoïdes sont présentes dans l'albumen corné du grain, le germe n'en contenant que de faibles quantités.
- la vitamine E: se trouve surtout dans le germe.

### **- Vitamines hydrosolubles**

Les vitamines hydrosolubles se trouvent principalement dans la couche à aleurone du grain de maïs, suivie du germe et de l'albumen (**Christianson et al., 1968**).

**CHAPITRE II :**  
**LES SOUS-PRODUITS**  
**DU MAIS**

Les sous-produits sont issus essentiellement suite à une transformation technologique du maïs. Cette dernière relève deux principaux groupes d'industries qui sont :

- **Les amidonneries** (et les industries liées)
- **Les distilleries**, surtout répandues aux Etats-Unis.

## **I. Transformation technologique « exemple principe des amidonneries »**

### **I.1. Comment obtenir de l'amidon**

Selon (**Morot-gaudry et al., 1984**) trois procédés sont utilisés pour transformer les grains de maïs en des sous-produits de valeur.

- Le broyage complet utilisé par l'industrie de la distillerie,
- La mouture sèche mise en œuvre par l'industrie de la semoulerie
- La mouture humide mise en œuvre par l'industrie de l'amidonnerie.

#### **A. Le broyage complet**

Il s'agit d'un simple broyage de l'ensemble du grain qui permet d'obtenir une farine grossière. Celle-ci est ensuite mise en présence d'enzymes pour une série d'hydrolyses permettant la libération de sucres fermentescibles. Ces sucres servent alors de substrat aux levures qui produisent de l'éthanol.

#### **B. La mouture sèche**

Les grains sont d'abord nettoyés, puis ils subissent un trempage destiné à les ramollir. Après un temps de repos et d'égouttage, les grains sont dégermés.

Différentes chaînes de broyage plus ou moins fin peuvent être utilisées selon la taille des particules que l'on souhaite obtenir. On distingue : les hominy (gros fragments d'amande de 4 à 6 mm) les grits (fragments moyens de 0,75 à 2,3 mm) et les farines (<0,75 mm). Ces semoules et farines sont utilisées en brasserie, pour la fabrication des céréales pour le petit déjeuner...

#### **C. La mouture humide**



C'est la voie de transformation de la plus grande partie du maïs dans les pays développés, puisqu'elle fournit l'amidon et des sous-produits de valeur tels que le gluten, les huiles et tourteaux, les drêches (corn gluten feed).

## **I.2. Les étapes de transformations « principe des amidonneries »**

Le maïs, après récolte, est séché (de 36 à 16 % d'eau) pour assurer sa conservation et son utilisation sur l'année. La qualité du séchage conditionne la facilité à séparer les constituants des grains.

Pour en extraire l'amidon, les grains de maïs vont subir l'extraction par voie humide qui permet d'obtenir une meilleure séparation des constituants. **(Boursier, 1999)**.

Les principales étapes du procédé sont :

### **- Etape 1. Trempage**

Pendant 36 à 48 h à des températures comprises entre 45 et 55 °C dans une eau sulfitée avec développement d'une fermentation lactique limitant les fermentations parasites et contribuant au ramollissement des grains. A ce stade les grains de maïs sont gonflés et peuvent être envoyés en atelier de trituration **(Doublie et al., 1975)**. Les eaux de trempage sont commercialisées après déshydratation sous l'appellation "solubles de maïs".

### **- Etape 2. Broyage grossier**

Le Broyage grossier permet de détacher le germe de la graine sans casse.

### **- Etape 3. Séparation des germes**

Les germes riches en matières grasses (20,7%) flottent et peuvent ainsi être recueilli. Ces germes seront utilisés pour la fabrication d'huile de maïs destinée à l'alimentation humaine. Le résidu solide de l'extraction forme du tourteau de germe de maïs destiné à l'alimentation animale mais il est rarement utilisé tel quel, il est le plus souvent mélangé avec d'autres coproduits du maïs.

### **- Etape 4. Broyage fin**

### **- Etape 5. Criblage**

Qui sépare d'une part, les enveloppes du grain et d'autre part, l'endosperme ou albumen, broyé. Les enveloppes lavées forment les drêches de maïs, parfois appelées drêches blanches de maïs.

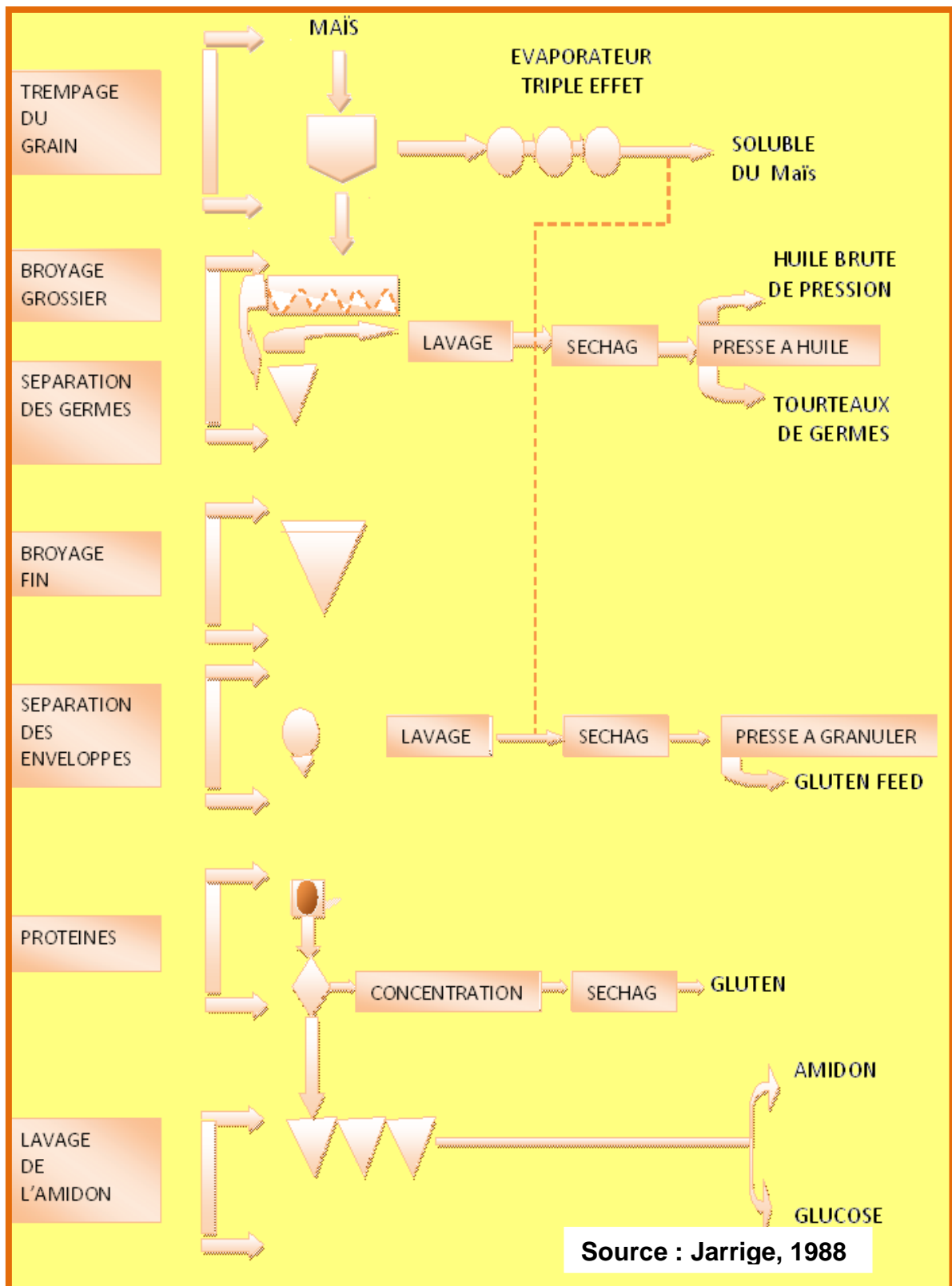
### **- Etape 6. Centrifugation**

L'albumen finement broyé est centrifugé afin de séparer les protéines moins denses, de l'amidon plus dense. Les protéines insolubles dans l'eau forment un coproduit appelé gluten de maïs ou gluten meal.

**- Etape 7. Traitement et utilisation de l'amidon**

L'amidon est lavé, séché et prêt pour l'utilisation.

Ces sept étapes sont représentées par un schéma simplifié dans la figure n° 7, ci-dessous :



**Figure 7** : Schéma général de l'amidonnerie du maïs par voie humide.

### I.3. Domaine d'utilisation de l'amidon

L'amidon est utilisé dans de très nombreux domaines :

- dans les aliments, les amidons sont utilisés pour améliorer la texture, la rendre plus onctueuse, épaissir, réaliser des enrobages croustillants, améliorer l'écoulement des poudres gélifier lier
- dans la papeterie,
- dans la cosmétologie,
- dans la pharmacie (base des comprimés...),
- dans les textiles.

En plus, il peut être utilisé comme matières premières pour d'autres industries agro-alimentaires

- fabricants des sirops de glucose.
- industries de la fermentation (le glucose issu de l'amidon sert de substrat de fermentation).

## **II. Les sous-produits issus du procédé amidonneries**

Pour le maïs, La préparation industrielle de l'amidon s'effectue essentiellement à partir des grains de maïs vu qu'il représente son principal composant chimique. L'amidon de maïs est obtenu dans le cadre d'un procédé dit par voie humide pour l'obtention de la farine (analogue à la meunerie) associé à un procédé de lixiviation **(Lunven, 1993)**.

La fabrication de l'amidon à partir du maïs produit un rendement d'environ 61 % d'amidon pur. La matière restante se compose d'un certain nombre de sous-produits qui sont une conséquence naturelle du procédé d'extraction de l'amidon par voie humide. La majeure partie de cette matière sert à la production de nourritures pour animaux, de sorte que l'endroit où ces produits sont fabriqués porte souvent le nom de « maison alimentaire ». Ces produits sont les suivants:

### **II.1. Le son de maïs**

Selon **(Saulnier, 1996)** les sons de maïs sous-produits de l'industrie semoulière, principalement vendus aux industriels de l'alimentation animale (fourrage pour l'alimentation des ruminants), sont constitués à environ 40% d'hétéroxylanes, polysaccharides pariétaux qui présentent en solution des propriétés intéressantes, permettant d'envisager une meilleure valorisation des 70 000 t de sons produites chaque année.

Les caractéristiques des hétéroxylanes de son de maïs rendent envisageable leur utilisation dans les industries pharmaceutiques ou cosmétiques comme épaississants ou stabilisants, leur grande solubilité leur texture fluide en bouche pourraient parfaitement convenir à des préparations prêtes à l'emploi, à dissoudre, ou à des boissons. Ils pourraient concurrencer la gomme arabique dans la confiserie ou pour glaçage du papier. Enfin, leurs propriétés filmogènes pourraient être exploitées dans toutes les applications réservées aux films hydrophiles (capsules...). L'imperméabilité aux gaz pourrait être exploitée pour protéger des produits sensibles à l'oxydation (vitamines oxydables...).

## **II.2. Le germe de maïs**

C'est un sous-produit particulièrement précieux, il est utilisé pour l'alimentation humaine. Après le séchage, l'huile de maïs sera extraite du germe. Le reste constitue le tourteau.

## **II.3. Le tourteau de germe de maïs**

Du germe de maïs sont extraits de l'huile et des tourteaux. Les tourteaux sont généralement destinés à l'alimentation animale.

Le traitement du maïs grain pour la production d'amidon permet d'obtenir divers sous-produits selon les proportions suivantes : gluten (4,5%), corn gluten feed (23%) et germes de maïs (6,1%). Du germe de maïs sont extraits de l'huile (2,9%) et des tourteaux (3,2%). La production de tourteaux est donc calculée à l'aide de ces coefficients (germes de maïs : 6,1% du maïs utilisé par les amidonniers ; tourteaux de germes de maïs : 52,46% du germe de maïs). Par analogie, on applique cette méthode au maïs grain traité par les semouliers.

## **II.4. Le soluble d'amidonnerie**

Les eaux de trempage sont commercialisées après déshydratation sous l'appellation "solubles de maïs".

## **II.5. L'huile de maïs**

Est une huile végétale extraite du grain de maïs qui contient 3,5 à 5% de lipides, 80% se trouvent dans le germe. C'est une huile alimentaire qui peut être utilisée directement en cuisine ou entrer dans la composition de margarines. Elle est également utilisée dans l'industrie pharmaceutique. Elle a une bonne valeur diététique. C'est une source naturelle importante d'acides gras insaturés des familles des oméga-6 (**Lunven, 1993**).

### **III. Les coproduits du maïs**

Comme c'est souvent le cas avec les industries agro-alimentaires, les coproduits du maïs peuvent présenter des variations de leur composition chimique en fonction des procédés technologiques mis en œuvre. Les industriels essaient de mélanger les différents sous-produits pour obtenir des produits commercialisés à composition constante (en particulier pour le taux de protéines brutes).

Les coproduits fournis par ces industries sont principalement :

1. **Le corn gluten feed** : Le gluten de maïs (alimentaire) est un mélange composé de l'enveloppe fibreuse du maïs et d'eau de trempage concentrée, qui contient la matière soluble après le trempage. L'eau de trempage est concentrée par évaporation, puis mélangée à la fibre avant d'être séchée pour produire des aliments pour les animaux. D'autres déchets alimentaires sont souvent ajoutés au mélange (**Anonyme 4, 2011**).
2. **Le gluten meal** : Elle est obtenue par séparation dans le lait total de la fraction protéique (lait de protéine) et de la fraction amidon (lait d'amidon). Il s'agit d'une suspension purifiée d'amidon.
3. **les DDGS** (Distillers Dried Grain with Solubles)
4. **Le gluten de maïs (gluten)** : est la protéine extraite du grain de maïs et se compose typiquement de protéine à 62 %. D'une couleur jaune vif, elle est utilisée comme aliment protéique pour les animaux (**Anonyme 4, 2011**).

Voici un schéma qui donne un aperçu des multiples utilisations de cette plante.

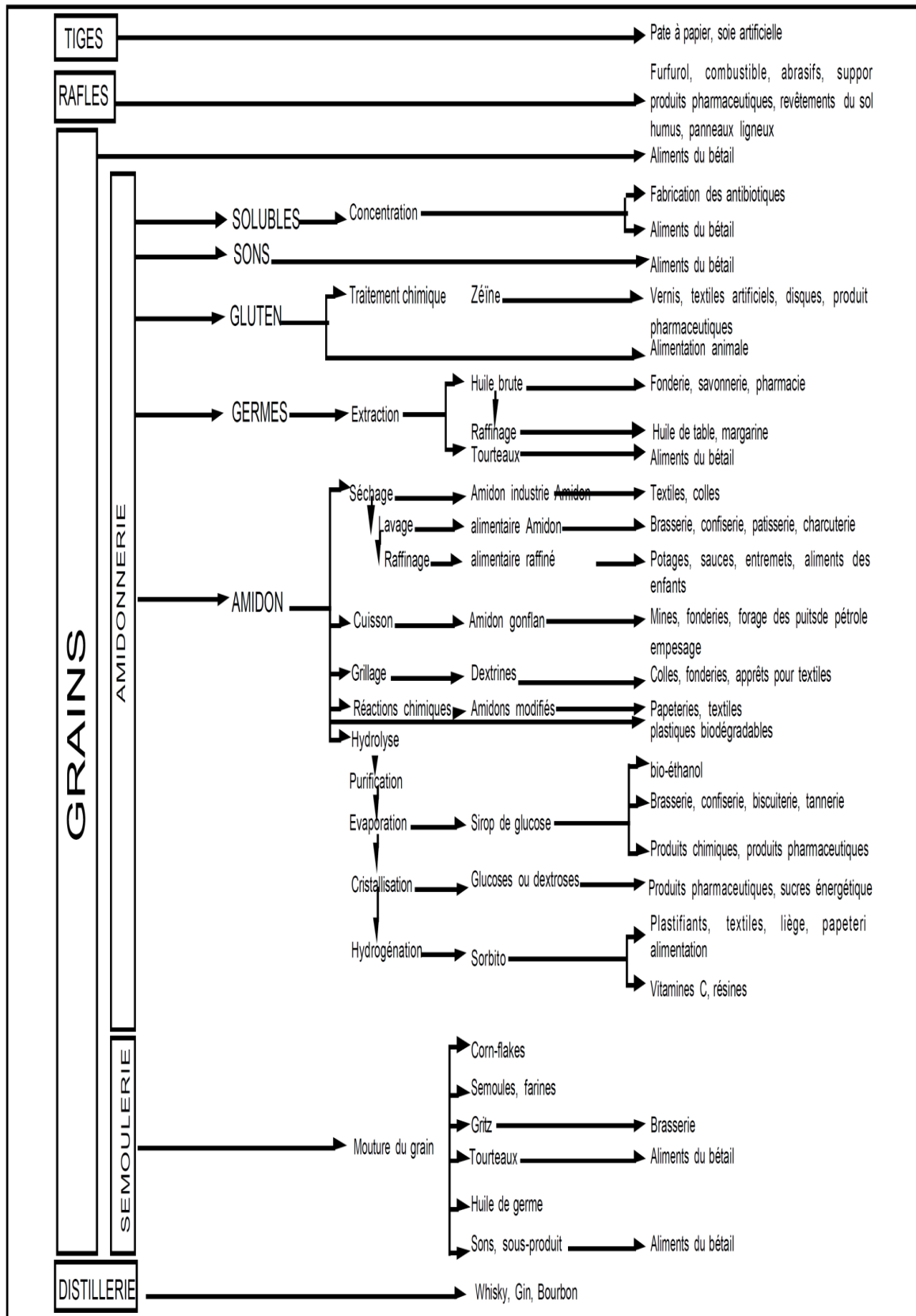


Figure n° 8 : Les utilisations de la plante de maïs (Courtois, 2008)

**CHAPITRE III :**  
**INTERET DU MAIS ET**  
**SES SOUS-PRODUITS**



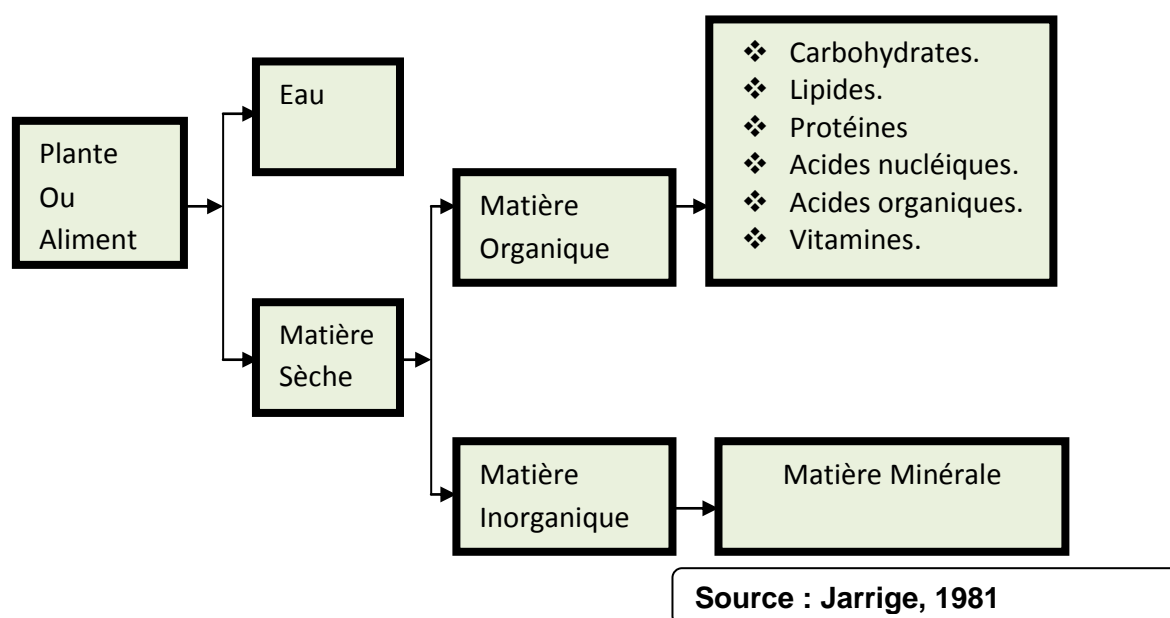
## I. Importance du maïs et ses sous-produits dans la nutrition

### I.1. Définition de la notion nutrition

Les plantes synthétisent à partir des substances simples telles que le carbone de l'air, l'eau et les éléments inorganiques du sol des substances complexes qu'on peut classer comme suite:

- Matière organique, matière minérale et matière azotée
- Substance énergétique et en substance non énergétique (**Jarrige, 1981 et Sablonnière, 2001**).

Voici un schéma qui donne un aperçu sur les différents constituants d'une plante entière.



**Figure 9 : Les différents constituants de la plante fourragère.**

La notion de qualité des produits agricoles fait référence à la qualité externe (forme, taille, couleur...) et la qualité interne (composition chimique et valeur nutritive et saveur).

Selon (**Lapeyronie, 1982**), la valeur alimentaire d'un aliment correspond à ses possibilités de transformation en produits animaux. Elle dépend :

- De la qualité des éléments nutritifs digestibles contenus dans l'unité d'aliment. C'est la valeur nutritive. Celle-ci résulte de la concentration de l'aliment en **énergie** (composition chimique) et de sa **digestibilité** qui est affectée par divers équilibres entre constituants minéraux, azotés, vitaminiques, le rapport matière sèche/eau de constitution.

- Des **qualités gustatives** de l'aliment. Un aliment même hautement assimilable n'a de valeur que s'il est accepté avec appétit : c'est l'acceptabilité ou l'appétibilité.

Les relations statistiques entre la valeur nutritive et quantité ingérée de l'aliment sont fonction de leur composition chimique ou morphologique(**Demarquilly et Weiss,1970**).

## **II. Importance du maïs**

En général, le maïs fournit de précieux éléments nutritifs dans l'alimentation humaine et animale, sert également comme matière première dans la production d'huiles, protéines, d'alcool, amidon, carburant, aussi comme édulcorant(**Anonyme 1,1993**).

### **II.1. Dans l'alimentation humaine**

On peut utiliser le grain entier, parvenu ou non à maturité; on peut aussi le transformer au moyen des techniques de mouture sèche de manière à obtenir un nombre relativement important de demi-produits, qui a leur tour, trouvent de nombreuses applications dans des produits alimentaires très divers.

En peut citer quelque exemple tel que :

- la fabrication des tortillas (minces galettes consommées au Mexique et dans d'autres pays d'Amérique centrale) soit également une opération de mouture humide qui n'enlève que le péricarpe (**Bressani, 1990**).
- Le maïs fermente en vue de la production d'alcool ou produit alcoolique (**Lunven,1993**).
- « pop-corn » et des « corn flakes » qui sont obtenues par éclatement des grains de maïs grâce à la chaleur, augmentant environ 30 fois leur volume (**Fredot,2006**).
- La « polenta » est une semoule de maïs obtenue par un fin broyage des grains de maïs. Elle peut ensuite être précuite à la vapeur. Elle est particulièrement intéressante pour les personnes intolérantes au gluten.
- L'huile de maïs, est riche en acide linoléique, elle peut être utilisée en assaisonnement ou en friture grâce à sa bonne résistance à des températures élevées.
- Mais frais appelé aussi « sweet corn » ou « maïs doux » sous forme d'épis pochés ou grillés.

- maïs en conserve, sous forme égrenée.
- L'amidon de maïs est le produit de base de la glucoserie(**Labarde, 2000**).Les sucres de maïs dérivés de la production d'amidon sont de plus en plus utilisés. Ils représentent la moitié des utilisations des produits sucrés en alimentation humaine tels que les boissons, la boulangerie, la biscuiterie, la conserverie, la confiserie et les produits laitiers et aliments pédiatriques.

## **II.2. Dans l'alimentation animale**

Dans les pays développés, plus de 60 % de la production est destinée à la fabrication d'aliments composés pour la volaille, les porcins et les ruminants. Depuis ces dernières années, même dans les pays en développement où il fait partie de l'alimentation de base, le maïs a été de plus en plus utilisé comme ingrédient des aliments pour animaux. Ce n'est que récemment que le maïs à «haute teneur en humidité» a retenu davantage l'attention dans l'alimentation animale en raison de son coût plus faible et de sa capacité à accroître le rendement des opérations de transformation(**Lunven,1993**).

Le maïs est utilisé sous différentes formes comme il est spécifié ci-dessous :

### **II.2.1.Maïs fourrage**

Il est produit directement par les éleveurs. Récolté précocement (30 % de matière sèche de la plante entière) tiges, feuilles, rafles et grains sont broyés et tassés dans des silos. Conservé par la fermentation qui s'en suit, le maïs fourrage constitue la ration de base pour l'alimentation des bovins. Ses atouts principaux sont l'énergie et l'appétence. Il couvre une part importante des besoins en énergie des animaux producteurs de lait ou de viande(**Anonyme 1, 1991**).

### **II.2.2.Le maïs grain humide**

Le grain, récolté humide, est broyé puis ensilé sans agent conservateur. Il est utilisé essentiellement pour l'alimentation des porcs, parfois mélangé à des rafles broyées, tout au long de l'année.

Récolté en épi ou en grain, le maïs est séché naturellement en cribs ou artificiellement dans des séchoirs industriels.

Le grain est alors directement incorporé dans la ration des animaux où il apporte à la fois l'énergie et le pouvoir colorant nécessaires aux productions de qualité (œufs, poulets, pintades, dindes, foie gras, etc.)

Il peut être également livré aux industries d'alimentation animale pour la fabrication d'aliments composés(**Anonyme 1,1991**).

### **II.2.3. Les aliments composés**

Lorsqu'ils sont complets, ces aliments assurent la ration de base des animaux, sous forme de farines ou de granulés.

Le maïs est la première céréale utilisée par les fabricants. Il constitue la portion la plus importante des aliments destinés aux porcs et aux volailles.

- Le péricarpe, encore qu'il ait retenu l'attention comme source de fibres alimentaires.
- Le gluten, obtenu à partir des sous-produits de la mouture humide du maïs.
- sous-produit du germe de maïs tourteau.

### **II.3. Autres utilisations**

Les principales utilisations actuelles sont:

- la fabrication de pâte à papier pour la papeterie
- la fermentation pour la production de carburant acétano-butylique;
- l'hydrolyse en milieu acide de la cellulose.

Par cette hydrolyse, on obtient:

- la production d'un certain nombre de substances chimiques telles que le furfural et la xylose, obtenues à partir des rafles. Ces résidus jouent également un rôle important dans la préparation des sols. du furfural (solvant employé dans le raffinage des pétroles et la chimie de synthèse);
- de la lignine, servant à la préparation d'engrais humiques;
- des hydrolysats sucrés, utilisés en levurerie.

Les rafles broyées ont des **propriétés d'absorption**, d'abrasion et de combustion qui leur valent des emplois divers:

- ✓ polissage des pièces de moteur, saupoudrage des moules de fonderie et des aciers laminés;
- ✓ nettoyage des fourrures et tapis, fabrication de produits absorbants;
- ✓ emballage de marchandises fragiles;
- ✓ fabrication de panneaux agglomérés.

De plus, les rafles, entières ou broyées, peuvent être utilisées dans l'élevage, en particulier en aviculture, comme litière pour les animaux.

### **III. Les domaines d'utilisation des sous-produits exemple de l'amidon de maïs**

En outre, d'après **(Labarde, 2000)** l'amidon de maïs est à l'origine de nombreux produits de synthèse élaborés par l'industrie chimique tels que :

- pharmacie (médicaments, antibiotiques),
- Papeterie (glaçage, cartons ondulés),
- Produits de beauté,
- Fabrication des colles,
- matériaux de construction.

### **VI. Autres Usages**

Compte tenu des divers usages auxquels il se prête, le maïs est l'une des céréales les plus cultivées.

En effet, en alimentation humaine, il entre dans la préparation d'environ 50 plats.

Il peut être consommé frais (maturité laiteuse), bouilli seul ou en mélange avec d'autres céréales (sorgho) ou avec des légumineuses (arachide, haricot).

A la maturité complète, les grains sont réduits en farine pour la préparation des pâtes, akassa, bouillie, beignets, etc.

En industrie, il sert à la préparation des bières, biscuits, sirop, colle, margarine, saveurs, etc.

Enfin les feuilles et les tiges et spathes de maïs sont un excellent aliment de bétail.

**DEUXIEME PATRIE :**  
**ÉTUDE EXPERIMENTALE**

**CHAPITRE I :**  
**MATERIELS &**  
**METHODES**

## **I. But et intérêt de l'expérimentation :**

Notre travail consiste à comparer et suivre la qualité physico-chimique et microbiologique d'une matière première « maïs », et deux de ces sous-produits « Amidon et son de maïs ».

Nous avons réalisés l'ensemble des analyses de cette expérimentation au sein de l'unité laboratoire ONAB Trade. Par ailleurs, le nombre de prélèvement effectuer est de : deux échantillons de chaque produit. Ces échantillons étaient prélevés de quatre sites différents:

- ONAB Trade Unité Portuaire d'Alger : Echantillon de Maïs n°01
- ONAB Trade Unité Portuaire d'Oran : Echantillon de Maïs n°02
- Amidonnerie de Maghnia "Groupe Metidji" : Echantillon de Son de Maïs n°01 et n°02.
- Importateur privé: Echantillon d'Amidon Alimentaire n°01 et n°02.

### **I.1. Présentation de l'Unité Laboratoire ONAB Trade**

Situé à Alger, le Laboratoire Central a été créé au Siège de l'ONAB en 1979, afin de contrôler les matières premières d'importation entrant dans la composition des aliments des animaux ainsi que les produits finis et composés minéraux vitaminés (CMV) produits dans les 30 Unités de fabrication du Groupe. Le laboratoire fournit diverses prestations dont les analyses Physico-chimiques, Biochimiques et Microbiologique pour les unités portuaires de l'ONAB, les Filiales Premix et les Unités d'aliments du Bétail.

Le Laboratoire Central de l'ONAB a ensuite été érigé en 2003 en une unité de prestations de service au même titre que les autres Unités de production. Ses missions ont été élargies vers des prestations d'analyses au profit des tiers, suite à l'obtention de son agrément auprès du Ministère du Commerce.

L'unité de laboratoire est dotée d'équipements de dernières technologies : Cette Unité occupe une superficie approximative de 260 m<sup>2</sup>. Elle est composée d'une enceinte centrale, de quatre salles d'analyses (selon les spécialités) et de deux bureaux pour l'administration.



## I.2. Conditions expérimentales

- **Matériels végétales**

Notre étude s'est portée sur une céréale **source d'énergie**, maïs et sur deux de ces sous-produits et ce en trois phases :

1. Le maïs : matière première importé par l'ONAB Trade.
2. Le son de maïs : stocké au niveau des hangars de l'amidonnerie de Maghnia et issu suite à une transformation.
3. L'Amidon : issu suite à une transformation de maïs.

	Pays d'origine	Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Date de fabrication et de péremption
Maïs jaune	USA	Port d'Alger - Hangar	27/02/2011	
	USA	Port Oran - Navire : HUKUFU du 08/05/2011	08/05/2011	
Son de Maïs	Algérie	hangar groupe Metidji - Maghnia	15/05/2011	
	Algérie	hangar groupe Metidji - Maghnia	15/05/2011	
Amidon alimentaire	Hollande	dépôt importateur privé	25/07/2011	06/2010 - 06/2012
	Hollande	dépôt importateur privé	25/07/2011	

- **Matériels utilise au laboratoire : (V. annexe01)**

- **Echantillonnage**

L'échantillonnage de nos produits stocké en vrac « maïs et son de maïs », est tel que recommandé par la norme nf v 03-740/1981. On prélève de l'avant, sur le coté, au centre et au fond du lot à l'aide d'une pelle pour obtenir un échantillon représentatif de 500 g. Par contre, Pour l'amidon de maïs produit emballé en sac de

25 Kg, le protocole adopté est le prélèvement de 500 g d'amidon a partir de 10 sacs pris au hasard du lot stocké, et ce a l'aide d'un pick-proof stérile.

Après avoir prélevé l'échantillon de 500 g de chaque produit, on le divise à part égale dans deux flacons stériles. L'un est destiné pour les analyses physicochimiques et l'autre pour les analyses microbiologiques.

Pour chaque analyse physicochimique et microbiologique, on prend le résultat de la moyenne arithmétique de l'analyse de deux prises d'essais.

- **Mode opératoire**

## **II. Analyses physico-chimiques**

### **II.1. Objectif**

Le contrôle physico-chimique a une grande importance car il peut détecter les différentes anomalies qui peuvent être présentes dans la matière ou dans le produit fini. Ainsi il offre souvent la possibilité de donner une évaluation quantitative et qualitative tel que la valeur nutritionnelle et énergétique.

### **II.2. Méthodes d'analyse physico-chimique**

#### **II.2.1. Masse à l'hectolitre (NA.1613/1990)**

La masse à hectolitre correspond à la masse de Maïs contenu dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel, elle est exprimée en kilogramme par hectolitre.

- **Principe**

Cette mesure consiste à un écoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient d'un litre.

Le poids spécifique se lie directement, il est exprimé en kilogramme par hectolitre.

#### **II.2.2. La teneur en gluten (NA735/ 1991)**

Extraction du gluten par malaxage mécanique et lavage d'un mélange de mouture avec une solution d'eau salée à 2%.

La teneur en gluten est une indication globale sur la qualité et la quantité des protéines, les résultats sont exprimés selon trois grandeurs ;

• **La teneur en gluten humide (GH)** est exprimée en pourcentage de la masse telle quelle

$$GH(\%) = \frac{(M \times 100)}{10}$$

M : est la masse en gramme de gluten humide.

Le gluten humide est exprimé en pourcentage en masse du produit rapporté à la matière sèche.

$$\frac{(GH \times 100)}{100 - H}$$

• **La teneur en gluten sec GS (%)** : le gluten humide obtenu précédemment est placé dans une étuve chopine pendant 2 heures.

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

$$GS(\%) = \frac{M' \times 100}{10}$$

M' : est la masse en gramme, de gluten sec.

Le gluten sec est exprimé en pourcentage en masse du produit rapporté à la matière sèche:

$$\frac{(GS \times 100)}{100 - H}$$

• **La teneur en gluten index GI (%)**, s'effectue selon la relation suivante

$$GI(\%) = \frac{\text{gluten restant sur le tamis} \times 100}{\text{gluten totale}}$$

• **La capacité d'hydratation**, représente la capacité du gluten à retenir l'eau, exprimé en pourcentage est donné par la relation

$$\text{coefficient d'hydratation}(\%) = \frac{GH - GS}{GH} \times 100$$

### II.2.3. La teneur en eau (NA 1192 - 1994, ISO 712 - 1985)

On entend conventionnellement par la teneur en eau, la perte de masse, exprimée en pourcentage, subie par le produit.

- **Principe**

Après broyage du maïs et du son de maïs, la température de séchage est de 130°C pour le maïs et de 103°C ± 2 pour le son et l'amidon du maïs est ce jusqu'à stabilité du poids.

### **Expression des résultats**

La teneur en eau, en pourcentage en masse du produit tel quel est égale à :

$$H\% = \frac{(M_0 - M_1)}{M_0} \times 100$$

M<sub>0</sub> : la masse, en gramme, de la prise d'essai.

M<sub>1</sub> : est la masse, en gramme, de la prise d'essai après séchage.

Prendre comme résultat la moyenne arithmétique des déterminations.

### **II.2.4. Teneur en cendres (NA.732 - 1989) :**

Le taux de cendres donne une indication sur la quantité de matières minérales contenues dans nos produits; c'est un critère pour apprécier la pureté du produit.

- **Principe :**

La détermination du taux de cendre repose sur l'incinération de 5g d'échantillon dans un four à moufle préalablement chauffé à 550°C pendant une durée de 4h jusqu'à combustion complète de la matière organique. La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu obtenu.

### **Expression des résultats**

$$C = \frac{M_1}{M_0} \times 100 \times \frac{100}{100 - H}$$

C : taux de cendre (% de matière sèche).

M<sub>0</sub>: la masse (g) de la prise d'essai.

M<sub>1</sub>: la masse (g) du résidu après incinération.

M<sub>2</sub>: la masse (g) de la nacelle+le résidu (après incinération).

H: la teneur en eau, exprimer en pourcentage en masse, l'échantillon pour essai.

## II.2.5. La teneur en protéines totales selon la méthode de KJELDHAL (NA.1158-1990, ISO 1871)

La teneur en protéine, par son intérêt technologique et nutritionnel, est un élément de la valeur d'utilisation du maïs.

- **Principe :**

Selon la méthode de KJELDHAL la détermination du taux de protéines, se fait en suite a une transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique concentré a chaud, en présence d'un catalyseur approprié ;

- Alcalinisation des produits de la réaction ;
- Distillation de l'ammoniac libre et titrage ;
- multiplication du résultat par un facteur adéquat.

La teneur en protéines se calcule à partir de la teneur en azote par l'intermédiaire d'un facteur de conversion qui est égale dans se cas à 6,25.

- **Expression des résultats :**

Le calcul de la teneur en azote exprime en pourcentage en masse est donné par la formule suivante:

Teneur en azote rapporte a la matière sèche

$$T_a = \frac{V \times 0,0014 \times 100}{M} \times \frac{10}{100 - H}$$

V: volume (ml) de la solution d'acide sulfurique versé à la burette lors du titrage.

M: masse (g) de la prise d'essai (1g).

H : teneur en eau, exprime en pourcentage en masse de l'échantillon pour essai.

1ml de Hcl ou de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 01N correspond a 0,0014 g d'azote.

Calculer la teneur en protéines du produit en multipliant la teneur en azote par le coefficient = 6.25 cas de nos produit).

La teneur en protéines(T<sub>p</sub>) est exprimée en (%) par rapport à la matière sèche.

$$T_p = T_a \times K \times 100 (100 - H)$$

## II.2.6. Dosage De La Matière Grasse

- **Principe**

Le principe consiste à extraire les lipides libres par un solvant organique apolaire tel que l'hexane à la température du laboratoire pendant une durée de 3 heures dans un soxhlet.

L'épuisement de l'échantillon est terminé au bout de trois heures et le solvant contenu dans le ballon préalablement taré est distillé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide. La différence du poids constitue la matière grasse.

- **Expression des résultats :**

La teneur en matières grasses totales, exprimée en masse du produit tel quel est égale à :

$$s = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100$$

Où :

M<sub>0</sub>: la masse, en grammes, de la prise d'essai

M<sub>1</sub>: la masse, en grammes, du ballon

M<sub>2</sub>: la masse, en grammes, du ballon et du résidu

## II.2.7. Dosage de la cellulose brute: (Norme NF V-03-040,1977).

La méthode permet de dosé dans nos échantillons les matières organiques exemptes de graisses et insolubles en milieu acide et en milieu alcalin, conventionnellement désignées sous le nom de cellulose brute.

- **Principe**

Les échantillons, éventuellement dégraissé et titrer successivement par solution bouillante d'acide sulfurique et d'hydroxyde de potassium de concentration déterminée. Le résidu est séparer par filtration sur amiante, lavé, séché, pesé et calciné, la perte de poids résultant de la calcination correspond a la cellulose brute correspond a la prise d'essai.

**Expression des résultats :**

$$C = \frac{P_1 - P_2}{P_e} \times 100$$

P<sub>1</sub> : poids creuset étuve

$P_2$  : poids creuset four

$P_e$  : prise d'essai

## **II.2.8. Teneur des glucides**

### **A. Dosage des sucres**

La méthode permet de doser les sucres réducteurs et les sucres totaux après inversion, exprimés en glucose ou, le cas échéant, en saccharose. Des modalités particulières sont prévues pour chaque échantillon.

#### **Principe**

Les sucres sont dissous dans l'éthanol dilué ; la solution est défécquée au moyen des réactifs de Carrez I et II. Et après élimination de l'éthanol, les dosages sont effectués avant et après inversion, selon la méthode de Luff-Schoorl.

- **Expression des résultats :**

Etablir à l'aide de la table (voir mode opératoire) la quantité de glucose en mg correspondant à la différence entre les valeurs des deux titrations, exprimées en ml de thiosulfate de sodium 0.1N.

Exprimer le résultat en pour cent de l'échantillon

### **B. Dosage de l'amidon (Méthode polarimétrique)**

La méthode permet de déterminer la teneur en amidon et en produits de dégradation à haut poids moléculaire de l'amidon des échantillons.

- **Principe**

La méthode comprend une double détermination :

- Dans la première, l'échantillon est traité à chaud par l'acide chlorhydrique dilué après défécation et filtration, on mesure par polarimétrie le pouvoir rotatoire de la solution.

- Dans la seconde, l'échantillon est extrait par l'éthanol à 40%. Après acidification du filtrat par l'acide chlorhydrique, défécation et filtration, on mesure le pouvoir rotatoire dans les mêmes conditions que lors de la première détermination. La différence entre les deux multipliée par un facteur connu donne la teneur en amidon de l'échantillon.

### **III. Analyse microbiologique**

#### **III.1. Objectif**

Le control microbiologique à pour but de garantir la bonne qualité hygiénique. Il détermine le risque pour la santé du consommateur (brule et al. 2006).

Les analyses reposent sur la recherche et dénombrement des germes les plus significatifs de l'état hygiénique du produit.

Suivant le J.O.R.A.D.P N°35 du 27/05/1998 qui indique les germes recherchés pour les céréale en grain est ces sous produit (son de maïs et amidon de maïs) sont les suivants :

- Recherche et dénombrement des moisissures.
- Recherche et dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs.

#### **III.2. Méthodes d'analyse microbiologique**

##### **III.2.1. Préparation de la solution mère et les dilutions décimales**

Prélever aseptiquement 25 g de produit et produit et l'introduire dans un flacon stérile contenant au préalable 225 ml de tryptone-sel-eau (TSE),

- Homogénéiser par des mouvements de va et vient,
- Cette suspension correspond à la dilution  $10^{-1}$  (1/10)

La technique des dilutions s'effectue aseptiquement avec un maximum de précision.

- A partir de la dilution mère  $10^{-1}$ , prélever à l'aide d'une pipette stérile 1 ml et l'introduire dans un tube stérile contenant 9 ml de TSE, bien homogénéiser, c'est la dilution de  $10^{-2}$  ou (1/100).
- Prélever ensuite aseptiquement 1ml de la dilution  $10^{-2}$  et l'introduire dans un tube stérile contenant 9ml de TSE qui donnera la dilution de  $10^{-3}$  ou (1/1000).

##### **III.2.2. Recherches et dénombrement des clostridium sulfito-réducteurs : (NORME NF V 08-056)**

Faire fondre la gélose viande foie (VF) ensuite ajouter une ampoule d'alun de fer et de sulfite de sodium, mélanger et maintenir en surfusion jusqu'au moment de l'emploi. Introduire dans une série de 4 tubes stériles (2 tubes pour chaque dilution



$10^{-4}$ ,  $10^{-2}$ ) 1 ml de l'échantillon, ensuite porter au bain marie à 80°C pendant 10 minutes. Refroidir brutalement sous l'eau du robinet puis ajouter environ 15 ml de la gélose préparée au préalable. Incuber à 37°C pendant 24 heures, et procéder à la lecture à partir 16 heures. Les *clostridium* se présentent sous forme de colonies entourés d'un halot noir, les résultats sont exprimés en nombre de spore par gramme de produit.

### **III.2.3. Recherches et dénombrement des levures et moisissures : (NORME NF V 08-052)**

Ensemencer en surface 1 ml de chaque dilution déjà préparée de l'échantillon sur une gélose Sabouraud ou chloramphénicol. Incuber les boîtes à 25°C pendant 5 jours. Pour les levures dénombrer les colonies dont l'aspect est lisse blanc laiteux.

Pour les moisissures dénombrer les colonies dont l'aspect est filamenteux.

**CHAPITRE II :**  
**RESULTATS &**  
**DISCUSSIONS**

**Tableau 5** : Tableau des résultats d'analyses physico-chimiques:

	GRAIN DE MAIS				SON DE MAIS				AMIDON DE		
	1 <sup>er</sup> Ech	2 <sup>ème</sup> Ech	Moy	Norme Euro*(1) (2)	1 <sup>er</sup> Ech	2 <sup>ème</sup> Ech	Moy	Norme Euro*(3)	1 <sup>er</sup> Ech	2 <sup>ème</sup> Ech	Moy
	10,96	11,03	10,99	13,00	8,52	8,04	8,28	Max 13	12,04	12,52	12,28
	1,05	0,78	0,91	1,30	0,94	0,88	0,91	5,40	0,12	0,10	0,11
ssse %	4,72	4,57	4,64	4,00	9,55	8,81	9,18	4,00	0,28	0,24	0,26
	9,46	9,15	9,30	9,00	9,72	8,65	9,18	10,10	0,40	0,24	0,32
	1,91	2,20	2,05	2,50	11,90	13,56	12,73	15,00	4,50	4,56	4,53
	61,20	61,30	61,25	60-70	45,50	46,58	46,04	-	89,97	90,03	90,00
	2,23	2,48	2,35	2-2,5	3,41	5,72	4,56	-	2,22	2,48	2,35
ute Kcalorie	-	-	341,56	372	-	-	372,66		-	-	391,1

\*(1) CNRC : conseil national de recherche canada.

\*(2) PROTECTOR, 1978 – Créons la nutrition de demain - Alimentation animale.

\*(3) Jarrige, 1988 p436/437

## **I. Caractéristiques physico-chimiques**

### **I.1. Teneur en eau**

La mesure de la détermination de l'eau est très recommandée, elle est la première à être mesurer, car on l'utilise ultérieurement pour d'autres paramètres tel que : teneur en cendres et matière grasse.

La teneur en eau dans de nombreux produits a une influence déterminante sur leur qualité, la possibilité de traitement, leur conservation et stabilité.

Le dosage de l'humidité permet de statuer sur les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage des aliments. C'est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques notamment la prolifération des microorganismes **(Feillet, 2000)**.

Dans notre cas, le maïs le son et l'amidon ont des teneurs en eau respectives de 10.99, 8.28 et 12.28 %, Ces teneurs sont normatifs sachant que la tolérance admise des trois produits est égale à un maximum de 13%. On remarque quela graine à une teneur supérieur à celle du son et moins que celle de l'amidon.

Selon **(Lunven, 1993)**, l'eau est toujours présente dans le grain, à une teneur plus ou moins grande.

D'après **(Harrington, 1972)** la durée de conservation des graines diminue de moitié, chaque fois que le taux d'humidité augmente de 1%. Cette règle fonctionne aussi à l'envers, si on réduit l'humidité en double la durée de conservation.

### **I.2. Teneur en cendres**

Le taux de cendres de notre maïs et son de maïs est 0.91 % et l'amidon est de 0.11%, ils se situent bien dans l'intervalle normatif (voir tableau des résultats).

Toutefois, la teneur en cendres ne correspond pas exactement à la teneur en matières minérales de la denrée (pertes de substances par volatilisation ou augmentation sensible de poids par formation de carbonates ou d'oxydes) **(Anonyme 1,1999)**.

C'est pour cette raison qu'on peut estimer des teneurs en élémentsminéraux beaucoup plus élevées aux valeurs trouvées**(SabeghetTsouriBentsouri, 2006)**.

Selon **(liener, 2000)**, le suivi de la teneur en cendre permet non seulement d'apprécier la qualité nutritionnelle, mais aussi de détecter des contaminations possibles si le taux de cendre dépasse 7%.

### **I.3. Teneur en matières grasses**

Le dosage de la matière grasse a pour but de déterminer la proportion des lipides totaux que renferment l'échantillon analysé et ses conditions de conservation.

Dans notre cas, le taux de matière grasse du maïs est 4.64 %, ce taux est dans la limite de la norme 4%. La teneur dans l'amidon de maïs est 0.26%, ce taux est dans les normes (0.1-0.3%). Par contre, on relève que la teneur en matière grasse du son de maïs 9.18% est supérieure à la valeur maximale normativement définie qui est de 4%.

Cependant, il est possible qu'une teneur supérieure à 6 % avec un taux d'humidité moyen de 12 à 15 % puisse nuire à la bonne conservation du produit **(Aouir, 2003)**.

### **I.4. Teneur en Protéine**

Dans le domaine des indications nutritionnelles, on se contente généralement de mesurer la teneur en protéines brutes, laissant l'évaluation des proportions des acides aminés composant ces protéines au domaine de la diététique **(Anonyme 1,1999)**.

La teneur en protéine (par la méthode KJELDAHL) se calcule à partir de la teneur en azote totale multiplié par le coefficient 6.25. Ce test a un intérêt nutritionnel, en effet, la valeur alimentaire est déterminée essentiellement par la composition en acides aminés des protéines du grain, surtout par la teneur en lysine et par la teneur en acides aminés indispensables **(Belaid, 1986)**.

Les résultats des différents échantillons sont selon les normes 9.30, 9.18 et 0.32% successivement pour le maïs, le son et l'amidon de maïs.

D'après **(Kriz, 1999)** L'embryon et la couche à aleurone externe de l'endosperme contiennent des protéines de stockage, ainsi ceux provenant d'embryons du maïs. Ce qui confirme nos résultats.

Cette teneur varie non seulement selon la nature de la céréale, mais également en fonction de la variété et des conditions de production (région, fertilisation, année) **(Jarrige, 1988)**.

### **I.5.Taux de Cellulose brute**

Les taux de cellulose brute trouvés sont 2,05% et 12,73%, concernant le maïs et le son de maïs, ses teneurs sont normatifs. Pour la teneur de la cellulose dans l'amidon de maïs est 4,53%. C'est un résultat supérieur aux normes.

La cellulose est concentrée dans la couche périphérique des céréales. Elle varie suivant les espèces considérées **(Rouau et Thibault,1987)**.

Selon **(Boldieu,1991)**, la cellulose et la lignine sont inutilisables par les monogastrique, leurs apports énergétiques sont relativement faibles en raison de leurs faible digestibilités, toutes excès abaisse la valeur alimentaire de la ration.

### **I.6. Teneur en amidon**

Le composant chimique principal du grain de maïs est l'amidon, ce qui représente jusqu'à 72-73 pour cent en poids du grain**(Boyer et Shannon, 1987)**.

Dans notre cas la teneur en amidon dans la graine de maïs est 61,25%, le son de maïs est 12,73% et l'amidon de maïs (pureté) est de 90%. Ces valeurs sont normatives.

Les sons des céréales sont les moins pourvus en amidon comparés aux autres sous-produits de meunerie **(Amruthmahal et al., 2003)**.

### **I.7. Teneur en sucres totaux**

Les autres glucides sont des sucres simples comme le glucose, le saccharose et le fructose, les quantités dans les céréales sont de 1 à 3%**(Boyer et Shannon, 1987)**.

Les valeurs obtenues lors de la détermination des teneurs en sucre totaux ont données les mêmes taux 2,35% pour le maïs et l'amidon de maïs et une valeur plus supérieure 4.56% pour le son de maïs.

## I.8. Détermination et calcul de la valeur énergétique

Deux principes sont à la base pour l'évaluation de la valeur énergétique d'une denrée:

- Toute partie digestible d'un aliment fournit, après son assimilation dans l'organisme, un nombre de calories en rapport avec la quantité ingérée.
- Les constituants principaux des aliments (protéines, graisses, hydrates de carbone) peuvent généralement se substituer les uns aux autres (loi de l'isodynamie)

il s'ensuit que le nombre total de calories d'une denrée s'obtient directement par addition des valeurs caloriques des différents nutriments.

Le pouvoir calorifique des différents nutriments a été mesuré expérimentalement dans les meilleures conditions. A partir de ces valeurs expérimentales, des valeurs moyennes ont été fixées pour chaque nutriment. (**Anonyme 1 ,1999**)

Valeurs caloriques moyennes :

- Protéines 4 kcal/g (17 kJ)
- Lipides 9 kcal/g (38 kJ)
- Glucides (hydrates de C assimilables) 4 kcal/g (17 kJ)

### Calcul de la valeur calorique de denrée

Après avoir déterminé les teneurs suivantes :

- P.B, Protéines brutes (protides),
- M.G, Matière grasse (lipides),
- C.B, Cellulose (fibres alimentaires),
- S.T, Sucres totaux,
- A, Amidon.

On multiplie les teneurs de chaque composant en g par les valeurs caloriques moyennes et faire la somme d'où

$$E.B = 4 \times P.B + 9 \times M.G + 4 \times (C.B + S.T + A).$$

La valeur calorique est donnée en kcal/100 g ou 100 ml de denrées ou en kJ/100 g ou 100 ml (1 kcal = 4,18 kJ).

Résultat

La valeur calorique du maïs **341,56** Kcal /100 g.

La valeur calorique du son de maïs: **372,66**Kcal/100 g.

La valeur calorique de l'amidon de maïs: **391,14Kcal/100 g**.

## II- Les analyses microbiologiques :

Selon **(faldet,1989)**, les micro-organismes associés aux grains sont les bactéries, levures et les moisissures. Ces différents agents biologiques entrent en compétition lorsque les conditions du milieu permettent leur présence simultanée. Nous avons vu qu'ils peuvent se développer dans une plage de température étendue de -8°C à +80°C et que par rapport à l'humidité relative de l'air, leurs limites inférieures moyennes de développement sont les suivantes: Bactéries 90% - Levures 85 % - Moisissures 65%, Donc sont les moisissures qui constituent la menace la plus fréquente au cours du stockage.

Après analyses microbiologiques réalisées sur le maïs, le son et l'amidon de maïs on a obtenu les résultats représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 6 : Résultat des analyses microbiologiques**

	Normes Algériennes UFC/ml	Le maïs		Le son de maïs		L'amidon de maïs	
		Éch 1	Éch 2	Éch 1	Éch 2	Éch 1	Éch 2
Clostridium sulfite-réducteurs à 46°C	<10 <sup>2</sup>						
		Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Les moisissures	<10 <sup>2</sup>	Abs	Abs	10	Abs	Abs	Abs

Les résultats obtenus sont conformes aux normes exigées par le **(JORA,1998)**. Ces analyses microbiologiques ont montré l'absence des moisissures et clostridium sulfite-réducteurs sur la majorité des six aliquotes (deux échantillons par produit).

## III.Discussion

L'importance que revêtent les céréales pour la nutrition de millions d'habitants de la planète n'a pas à être démontrée. Etant donné la consommation relativement importante dont elles font l'objet dans les pays en développement, les céréales ne peuvent pas être considérées uniquement comme une source d'énergie



puisqu'elles fournissent également des apports importants en protéines(**Anonyme, 1989**).

Dans notre cas nous pouvons observer que nos échantillons de maïs et ses sous-produits, son et amidon de maïs, ont un apport énergétique relativement important.

D'une manière générale; on considère que le Coefficient d'utilisation digestives CUD de l'énergie diminue de 2 à 3%, ou plus, lorsque le taux de cellulose brute dosée par la méthode de WEENDE, augmente de 1%. Il existe d'ailleurs des variations plus ou moins importantes selon la nature de la céréale constitutive de la ration (**Nehring, 1966**).

On note que les protéines sont présentes dans la graine et le son de maïs, par contre dans l'amidon on ne trouve que des traces (0,32 %). Pour les glucides et principalement l'amidon, les concentrations obtenues sont important dans l'amidon et le maïs par contre avec une concentration moins importante dans le son de maïs.

Il est à retenir que l'ensemble des résultats obtenus sont normatif, Exception faite pour le taux matière grasse du son de maïs 9,18 %, ainsi pour le taux de cellulose brute de l'amidon 4,53 % qui sont des taux très élevés par rapport aux normes.

Le son de maïs constitué essentiellement par les enveloppes et le capuchon du grain est séparé de la farine par tamisage après broyage. Il contient en outre des fragments d'amidon, une partie de l'assise protéique et une faible proportion du germe. Sa teneur en cellulose brute est relativement élevée (15% de la MS); ses parois sont peu lignifiées et facilement, mais lentement, dégradables; sa teneur en matières grasses est variable selon la proportion de germe.

L'amidon de maïs est un sous-produit issu suite d'une transformation technologique par voie humide et subit plusieurs traitements.

Selon (**Jarrige, 1988**), les sous-produits de céréales: il s'agit principalement de sous-produits de la meunerie, de l'amidonnerie, de la semoulerie et des industries de fermentation (brasserie, fabrication d'alcool...). Leurs caractéristiques analytiques et leur valeur nutritive sont très diverses selon l'origine botanique et **surtout le traitement technologique**.

# **CONCLUSION GENERAL**

## Conclusion générale

Notre étude réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de l'unité Laboratoire, ONAB Trade - sis Gué de

Constantine, a consisté à contrôler la qualité physicochimique et microbiologique de nos échantillons (Mais, amidon et son de maïs) dans le but de les valoriser et de mettre en évidence leur valeur nutritionnelle et énergétique.

A l'issu de l'expérimentation l'étude a révélé que pour les trois produits:

L'analyse microbiologique montre une absence totale des germes pathogènes en l'occurrence (*Clostridium*) ainsi que les levures et les moisissures.

L'analyse physicochimique montre que :

- La graine de maïs est riche en amidon (61.25%), en matière grasse (4%) et plus ou moins en protéine (9%). Ces valeurs sont selon les normes. Cette stabilité confère à la graine la bonne aptitude à se conserver. Cette richesse en glucide (plus de 72%) le rend énergétique et parmi les céréales les plus demandées, soit pour l'alimentation humaine ou animale.
- Le son de maïs est riche en cellulose (fibres) à une valeur de 12.73%, dont son rôle est prépondérant dans l'accélération du transit intestinal. Riche aussi en amidon (46.04%) et en protéines (9.18%) ces résultats sont conformes aux normes, sauf que le taux de matière grasse les dépasse largement ce qui est essentiellement dû aux conditions de productions. Ceci ne fait qu'améliorer sa valeur énergétique.
- L'amidon de maïs atteint une pureté avoisinant les 90% ce qui le classe comme favori dans la catégorie des aliments énergétiques devant le maïs et le son de maïs, nous notons un taux de celluloses de 4.53% (plus élevé par rapport à la norme).

En perspective, il serait intéressant de faire des études plus poussées sur les constituants chimiques du maïs et de l'ensemble de ses sous-produits, et ce, vu que c'est un aliment d'une bonne qualité nutritionnelle et énergétique tant pour l'alimentation humaine qu'animal.

- Dans l'alimentation humaine le son pourrait être un additif pour améliorer la qualité panifiable des farines ou même additionner à la farine de maïs pour faire un pain dit "complet" conseillé pour les malades cœliaques et les colopathes.
- L'amidon joue un rôle essentiel dans les différentes industries agroalimentaires (panification, biscuiteries et comme additif alimentaire) ou pharmaceutique...etc. ce qui fait de lui un atout majeur et indispensable pour sa valorisation dans les amidonneries
- Pour ce qui est de l'alimentation animale le son et l'amidon corrigent les carences et les déficiences de l'alimentation du bétail avec des coûts moindres
- Son utilisation comme combustible et bioéthanol en outre mer, accentue la nécessité de le produire et de mieux le valoriser

Ceci étant dit, l'Algérie doit renforcer sa politique de production de cette céréale pour subvenir aux différents besoins des différents secteurs.

**ANNEXE 1**

**APPAREILLAGE**

**& REACTIF**

## **Annexe 1 : APPAREILLAGE ET REACTIF**

### **La teneur en eau**

- Balance analytique.
- Broyeur.
- Vase métallique non attaquant dans les conditions de l'essai muni d'un couvercle suffisamment étanche.
- Etuve isotherme, à chauffage électrique, réglé de telle façon que la température est de 103°C
- Dessiccateur garni d'un agent déshydratant efficace.

### **Teneur en cendres**

- Broyeur
- Nacelles à incinération, en matériaux non attaquant dans les conditions de l'essai, d'au moins 20 ml de capacité.
- Four électrique, la température d'incinération est de 550°C ± 25°C.
- Dessiccateur garni d'un agent déshydratant efficace.
- Balance analytique.

### **Teneur en protéines totales**

- Broyeur
- Balance analytique
- Papier sulfurisé
- Matras kjeldahl de 500 ml
- erlenmeyer de 300 ml
- Appareils de distillation

- Dispositif de chauffage permettant l'inclinaison du Matras durant l'opération de manière à ce que la source de chaleur n'atteigne que la partie de la paroi du matras située au dessous du niveau du liquide.
- Dispositif d'aspiration pour les vapeurs d'acides libérés pendant l'attaque.

### **Dosage de la cellulose brute**

- creuset en porcelaine
- four à moufle
- Etuve
- papier filtre
- Erlenmeyer à vide
- Entonnoir
- Réfrigérants reflux avec rodage normalisée 29/32
- Erlenmeyer 500 ml avec rodage normalisée 29/32

### **Matière grasse**

- Appareil d'extraction complète selon Soxhlet "SOXTHERM"
- Cartouches d'extraction dimension à préciser selon l'extracteur
- Ouate dégraissée
- Système de chauffage baign-marie ou plaques chauffantes.
- rotavapor
- Billes en verre.
- Réactifs matière grasse : éther diéthylique.

### **Dosage de l'amidon**

- Erlenmeyer de 250 ml à rodage normalisé, avec réfrigérant à reflux.
- Polarimètre.

#### Réactifs Dosage de l'amidon

- Acide chlorhydrique à 25%(p/p), d : 1,126.
- Acide chlorhydrique à 1,128 %(p/v).
- Solution d'hydroxyde de sodium 0.1 N.
- Rouge de méthyle à 0.1%(p/v)
- l'éthanol à 94% (v/v)

- Solution de Carrez I : dissoudre dans l'eau 21,9g d'acétate de zinc et 3g d'acide acétique glacial. Compléter à 100ml avec de l'eau.
- Solution de Carrez II : dissoudre dans l'eau 10,6 g de ferrocyanure de potassium compléter à 100 ml avec de l'eau.
- Ethanol à 40% (V/V) d : 0,948 à 20°C.

### **Dosage des sucres**

Mélangeur (culbuteur) : environ 35 à 40 retournements par minute.

Réactifs Dosage des sucres

- Ethanol à 40% (v/v), d : 0,948 à 20 °C.
- Solution de Carrez I
- Solution de Carrez II
- Solution à 0,1 % (p/v) de méthylorange.
- Acide chlorhydrique 4N
- Acide chlorhydrique 0,1N
- Solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N.
- Réactif selon Luff-Schoorl :

Verser, tout en agitant prudemment, la solution d'acide citrique dans la solution de carbonate de sodium. Ajouter ensuite la solution de sulfate de cuivre et compléter à 1l avec de l'eau. Laisser reposer une nuit et filtrer.

- Solution de sulfate de cuivre : dissoudre 25 g de sulfate de cuivre p.a.,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , exempte de fer, dans 100 ml d'eau.
- Solution d'acide citrique: dissoudre 50 g d'acide citrique p.a.,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  .  $\text{H}_2\text{O}$ , dans 50 ml d'eau.
- Solution de carbonate de sodium: dissoudre 143,8 g de carbonate de sodium anhydride p.a., dans 300 ml d'eau chaude. Laisser refroidir.
- Solution de thiosulfate de sodium 0,1 N.
- Solution d'amidon : ajouter un mélange de 5 g d'amidon soluble dans 30 ml d'eau à 1 l d'eau bouillante. Faire bouillir durant trois minutes, laisser refroidir, ajouter éventuellement 10 mg d'iodure mercurique comme agent conservateur.
- Acide sulfurique 6 N.
- Solution à 30 pour cent (p/v) d'iodure de potassium.



- Granulés de pierre ponce bouillis dans l'acide chlorhydrique, lavés à l'eau et séchés.
- Isopentanol.

# **ANNEXE 2**

# **MODE OPERATOIRE**

## **Annexe 02 : Mode Opérateur**

### **1. La teneur en eau**

Prise d'essai Pesé 5 g de l'échantillon et le verser dans une nacelle.

Introduire la nacelle ouverte contenant la prise d'essai, et le couvercle dans l'étuve pendant 2 heures.

Retire la nacelle de l'étuve, la couvrir et la place dans un dessiccateur

Laisser refroidir durant 30 minutes. Puis pesé

### **2. Teneuren cendres**

Broyer les échantillons (maïs et son de maïs)

Pesé 5g de l'échantillon broyer dans des creusets préalablement taret.

Mettre le creuset pendant 4 h dans un four a moufle a 550°C.

Laisser refroidir le creuset dans un dessiccateur.

Peser le creuset à nouveau.

### **3.Dosage de la cellulose brute**

On pèse une prise d'essai  $P_e$  de 0,50 g pour chaque échantillons dans des creusées filtrant ; les placés dans l'extracteur avec une température max 100°C, ajouté 50 ml d'acide sulfurique chaud faire bouillir le mélange pendant 30 min a une température de 60° C. Rince le tous avec de l'eau distille chaude.

Refaire la même opération avec le milieu basique KOH.

Sécher dans l'étuve a une température de 100°C, laisser refroidir et procédé à la pesé  $P_1$  passer à la calcination pendant 3 heure à une température de 550°C, et procédé à la pesé  $P_2$ . La différence de poids nous donne la quantité de cellulose brute existant dans nos échantillons.

### **4. La teneur en protéines totales**

Peser environ 1 g du produit à analyser dans une nacelle et introduire le tout dans le tube de destruction.

Ajouter 8 g de catalyseur et 25 ml d'acide sulfurique concentré.

Chauffer le mélange à basse température (tendance à mousser), et après à une température d'environ 350°C le temps total de destruction et de 3h.

Verser 70 ml de la solution d'acide borique dans l'erenmeyer récepteur de l'appareil à distiller.

Distiller suivant les instructions du système **kjeldahl**.

Titrer le distillat avec la solution d'acide sulfurique jusqu'à couleur grise de l'indicateur.

Le choix de la normalité de la solution dépend de la teneur en protéine

Teneur en protéine (25% 0.1N)

Teneur en protéine (25% 0.5N)

Faire régulièrement un essai à blanc ce qui donne une quantité H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou NaOH

## **5. Matière grasse**

- Peser 3 g à 1 mg près, de l'échantillon. Introduire l'échantillon dans une cartouche d'extraction et couvrir la cartouche à l'aide de l'ouate.

- tarer le ballon de l'extracteur avec quelques billes en verre.

- Introduire la cartouche dans l'extracteur.

- Remplir le ballon taré à 2/3 avec 50 ml d'éther et monter l'appareil sur l'appareil de chauffage.

- extracteur pendant 6 heures.

- Enlever la cartouche de l'extracteur et distiller l'éther.

- Sécher le ballon pendant 30 min sur le rotavapore.

- Laisser refroidir le ballon dans un dessiccateur.

- Peser le ballon à nouveau

## **6. Dosage de l'amidon**

Préparation de l'échantillon.

Broyer l'échantillon de façon qu'il passe en totalité au travers d'un tamis mailles rondes de 0,5 mm de diamètre.

Détermination du pouvoir rotatoire total (P ou S) (v, observation 7.1).

Peser, à 1mg près, 2,5 g de l'échantillon broyé et les introduire dans un ballon jaugé de 100 ml. Ajouter 25 ml d'acide chlorhydrique (3.2), agiter pour obtenir une

bonne répartition de la pris d'essai et ajouter à nouveau 25 ml d'acide chlorhydrique (3.2). Plonger le ballon dans un bain d'eau bouillante et, durant les 3 premières minutes qui suivent, agiter énergiquement et régulièrement pour éviter la formation d'agglomérats. La quantité d'eau du bain doit être suffisante pour permettre de maintenir le bain en ébullition lorsque le ballon y est plongé. Celui-ci ne peut être retiré du bain au cours de l'agitation.

Après 15 minutes exactement, retirer le ballon du bain, y ajouter 30 ml d'eau froide et refroidir immédiatement jusqu'à 20°C.

Ajouter 5 ml de solution de carrez I (3.3) et agiter pendant une minute. Ajouter ensuite 5 ml de solution de carrez II (3.4) et agiter à nouveau pendant une minute. Compléter au volume avec de l'eau, homogénéiser et filtrer. Si le filtrat n'est pas parfaitement limpide (ce qui est peu fréquent), recommencer l'analyse en utilisant une plus grande quantité des solutions de carrez I et II, par exemple 10 ml.

## **7. dosage des sucres**

Peser, à 1 mg près, 2.5 g de l'échantillon, et les introduire dans un ballon jaugé de 250 ml. Ajouter 200 ml d'éthanol (3.1) et mélanger pendant une heure dans le culbuteur. Ajouter 5 ml de solution de Carrez I (3.2) et agiter pendant une minute. Ajouter ensuite 5 ml de solution de Carrez II (3.3) et agiter à nouveau pendant une minute. Porter au volume avec de l'éthanol (3.1), homogénéiser et filtrer. Prélever 200 ml du filtrat et évaporer environ la moitié du volume, afin d'éliminer la majeure partie de l'éthanol. Transvaser quantitativement le résidu d'évaporation, à l'aide d'eau chaude, dans un ballon jaugé de 200 ml, refroidir, porter au volume avec de l'eau, homogénéiser et filtrer.

Dosages des sucres réducteurs:Prélever à la pipette une quantité de solution n'excédant pas 25 ml et contenant moins de 60 mg de sucres réducteurs, exprimés en glucose. Si nécessaire, compléter à 25 ml avec de l'eau distillée et déterminer la teneur en sucres réducteurs selon Luff-Schoorl. Le résultat est exprimé en glucose pour cent.

Dosages des sucres totaux après inversion:Prélever à la pipette 50 ml de solution et les porter dans un ballon jaugé de 100 ml. Ajouter quelques gouttes de solution de méthylorange (3.4) puis, prudemment et tout en agitant, de l'aide chlorhydrique 4 N (3.5) jusqu'à virage net au rouge. Ajouter 15 ml d'acide chlorhydrique 0.1 N (3.6),

plonger le ballon dans un bain d'eau à forte ébullition et l'y maintenir durant trente minutes. Refroidir rapidement à 20°C environ et ajouter 15 ml de solution d'hydroxyde de sodium 0.1 N (3.7). Compléter à 100 ml avec l'eau et homogénéiser. Prélever une quantité n'excédant pas 25 ml et contenant moins de 60 mg de sucres réducteurs, exprimés en glucose. Si nécessaire, compléter à 25 ml avec de l'eau distillée et déterminer la teneur en sucres réducteurs selon Luff-Schoorl. Le résultat est exprimé en glucose pour cent ou, le cas échéant, en saccharose, en multipliant par le facteur 0.95.

Titration selon Luff-Schoorl: Prélever à la pipette 25 ml du réactif selon Luff-Schoorl (3.8) et les porter dans un erlenmeyer de 300 ml ; ajouter 25 ml exactement mesurés, de la solution déféquée de sucres. Ajouter deux granulés de pierre ponce (3.13), chauffé, en agitant à la main, sur une flamme libre de hauteur moyenne et porter le liquide à ébullition en deux minutes environ. Placer immédiatement l'erlenmeyer sur une toile métallique pourvue d'un écran d'amiante muni d'un trou de 6 cm environ de diamètre, sous laquelle on a préalablement allumé une flamme. Celle-ci est réglée de façon que seul le fond de l'erlenmeyer soit chauffé. Adapter ensuite un réfrigérant à reflux sur l'erlenmeyer. A partir de ce moment, faire bouillir pendant dix minutes exactement. Refroidir immédiatement dans l'eau froide et après cinq minutes environ, titrer comme suite :

Ajouter 10 ml de solution d'iodure de potassium (3.12) et, immédiatement après et avec prudence (en raison du risque de formation d'une mousse abondante), 25 ml d'acide sulfurique 6 N (3.11). Titrer ensuite par la solution de thiosulfate de sodium 0.1 N (3.9) jusqu'à apparition d'une coloration jaune terne, ajouter l'indicateur à l'amidon (3.10) et achever la titration.

Effectuer la même titration sur un mélange exactement mesuré de 25 ml de réactif selon Luff-Schoorl (3.8) et 2.5 ml d'eau, après avoir ajouté 10 ml de solution d'iodure de potassium (3.12) et 25 ml d'acide sulfurique 6 N (3.11), sans porter à ébullition.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## A

**Amruthmahal A, Asna U et Shashikala P, 2003** : In vitro starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. *Starch/Staerke*, 55 (2), 94-99.

**Anonyme 1 , 1991** : le maïs ensilage: objectif qualité, objectif quantité (**AGPM, ITEB et ITCF**).

**Anonyme 1 ,1999** : teneurs en nutriments et valeur énergetique des denrees p 6 (ae/27valnu.doc/27/08/99) epsic.ch/branches/chimie/denrees/27valnu.pdf.

**Anonyme, 2000** : **AGPM** (Association Générale des producteurs de Maïs) congrès sur l'année céréalière et le maïs, p 95, paris.

**Anonyme , 2002** : FAO (Food and Agriculture Organization), 2002. Annuaire de production, vol 56, pp 171-172.

**Anonyme, 2004** : Filières de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, et Actions du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche Page p 8/10 Filière Maïs Fiche n° 108). MAEP UPDR – OCEAN CONSULTANT publier par [www.inter-reseaux.org](http://www.inter-reseaux.org)

**Anonyme 1 , 2009** : Les Débouchés du Maïs Grain : La semoulerie p 13 [www.maisadour-semences.fr](http://www.maisadour-semences.fr)

**Anonyme 2 , 2009** : les caractéristiques nutritives du maïs.  
[www.gnis-pedagogie.org](http://www.gnis-pedagogie.org)

**Anonyme 3 , 2009** : classification botanique, Base de Données Nomenclaturale de la Flore des états unit par **plants database, USDA** : united states département of agriculturen et **NRCS** natural resources conservation service

**Anonyme 1 , 2010 : Production du maïs.** Quotidien indépendant. Edition du [www.jeune-independant.net](http://www.jeune-independant.net)

**Anonyme 2 , 2010 :** Le maïs produit prochainement en Algérie. [www.made-in-algeria.com](http://www.made-in-algeria.com)

II. **Anonyme 3 , 2010 :** Le Maghreb Quotidien indépendant. Edition du [www.journaldesfemmes.com](http://www.journaldesfemmes.com)

**Anonyme 4 , 2010:** l'amidonnerie, publier par [membres.multimania.fr](http://membres.multimania.fr)

**Anonyme 5 , 2010 : produit agro alimentaire,** publier par [www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/file/Gaf10p096-101.pdf](http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/file/Gaf10p096-101.pdf)

**Anonyme 1 , 2011 :** la production du maïs dans le monde ministère de l'agriculture de USDA , [www.plantoscope.com/cereales/193-production-de-mais-dans-le-monde](http://www.plantoscope.com/cereales/193-production-de-mais-dans-le-monde).

**Anonyme 2 , 2011 :** Algérie- Première expérience concluante de la culture du maïs à Oran, article du Quotidien indépendant. Edition du [www.maghrebemergent.com](http://www.maghrebemergent.com)

**Anonyme 3 , 2011:** [www. agpm.com](http://www.agpm.com)

*Anonyme 4, 2011: les co-produits du maïs publier par groupe GEA [www.barr-rosin.com](http://www.barr-rosin.com)*

**Anonyme 4, 2011:** rapport de conference du 26-27 sep 2011, "USGC Algerian,U.S. grain marketing Working Workshop" - IGP( international grains program) Kansas state university.

**Aouir A, 2003 :** Caractérisation physico-chimique et nutritionnelle des fibres alimentaires de quelques céréales. Thèse de Magister. I.N.A El-Harrach, Alger.

## **B**

**Ben Zaghou M , 1976 :** Situation De La Culture Du Mais Grain En Algérie Perspective De Développement mémoire du ministères de l'agriculture p 121

**Belaid D, 1986 :** aspects de la céréaliculture algérienne collection le cours d'agronomie (N°P 176) p 205.



**Boyer D, et Shannon C, 1987** : les glucides du noyau./N SA Watson et PE ramstad, Ed. maïs : la chimie ANCL la technologie, p.253-272. st paul, minnesota, Etats-unis, Am. cerealchem.

**Bressani R, 1990** : Chimie, la technologie et la valeur nutritive des tortillas de maïs.

**Boldieu, 1991** : les grains oléagineux et protéagineux. Ed. lavoisier. paris pp :115-120.

**Bricas N , Bridier B , Devautour H, Mestres C,1994** : Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest, Ed CIRAD (Département des systèmes agroalimentaires et ruraux),p 304 Montpellier, France.

**Boursier b , 1999** : Applications alimentaires (en %) des amidons natifs et modifiés aux États-Unis et en Europe.

**Bassaler N , 2000** : le maïs et ses avenir p9. p 47 cahier du lips N°13 publier par le GERPA

**Benamouche H, Panelli S, Brard M ,Pelletier T, Chabault E, Reynaud M, Hequet S, Savaete V , Larraburu M, Triboulot C, Marion D, 2001** :Les Produits Cerealiers Intermediaires.

## **C**

**Christianson D, DIMLER J et BOOTH N, 1968** : nutritionnel niacine disponibles dans le maïs.

**CNRC** : conseil national de recherche canada.

**Cruz F, Troude F, Griffon D, Hebert P, 1988** : Paris, France, Ministère de la Coopération et du Développement. **CEEMAT** - Centre d'Études et d'Expérimentation du Machinisme Agricole et Tropical Conservation des grains en régions chaudes p 545. *3<sup>e</sup> trimestre 1988*

**Cameron j , 2007** : Les sous-produits... peut-on en tirer profit ? Responsable en vulgarisation au CEPOQ 5p utilise p 2,4 et 5

**Courtois F , 2008** : amelioration de la qualite agro-industrielle du mais par la modelisation dynamique du sechage doctorat, Mémoire de doctorat de l'ecole nationale superieure des industries agricoles et alimentaires 102 p (p 7-8 )

## **D**

**Demarquilly C , Weiss Ph , 1970** : Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. INRAF. 64p.

**Doublier L, Lisch M et Launay B, 1975** : Agents de texture alimentaire, épaississant et gélifiant : série synthèses bibliographiques n°6, CDIUPA, Tec et Doc Lavoisier.

## **F**

**Faldet M , 1989** : uio as a percent of crude protein (uip-cp) measured with broderick in vitro inhibitor.ph.d.dissertation.univ. of Wisconsin, Madison.

**Feillet P, 2000** : ouvrage le grain de blé. oai :numilog.com.

**Ferdot E , 2006** : connaissances des aliments. Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Paris : technique et documentation. Lavoisier : 397p

## **G**

**Genty C , 1996** : technique de l'ingénieur. Paris : technique et de documentation

## **H**

**Hinton , 1953** : **distribution du poit par rapport a la structure**

**harrington, 1972** : **composition of milk in new york state 24p ed cornell university agricultural experiment station**

**Haddouche , 2008** **speruline**

## **J**

**Jarrige J, 1981** : Précision de la valeur alimentaire des ruminants INRA. France. 13-40

**Jarrige R, 1988** : alimentation des bovin ovin caprin INRA pp : 471 , 341-342.

**JORA, 1998** : journal officiel de la republique algerienne N°35 p21

**k**

**Kriz A, 1999** : globulines 7s de cereales. dans : shewry PR, Casey R, eds. protein de la graine. Dordrecht : Kluwer Academic publishers, 477-498.

**L**

**Labarde C , 2000** : La civilisation du maïs. Phare international : 402 p

**Lapeyronie A , 1982** : Les productions fourragères méditerranéennes. G.P.M. et Larose. 245.

**Laumont P , 1950** : Le maïs et sa culture en Algérie 6P alger-roi.net

**Le Hir A , 2001** : pharmacie galéniques 8eme édition : Masson, paris : 402 p

**Leparte F ,1988** : Les industries agricoles et alimentaires. Paris : technique et documentation. Lavoisier : 243 p

**Lieneri E, 2000** : non nutritive factors and bioactive compound In soy in animal nutrition.Ed.J.D. Drackley. federation of animal science societies.pp:703-712.

**Lunven P , 1993** : alimentation et nutrition N° 25 [www.fao.org](http://www.fao.org)

**M**

**Morot-Gaudry F, Jolivet E, 1984** : Assimilation photosynthétique du carbone chez le maïs. In "Physiologie du maïs"

**N**

**Nehring K, 1966** : arch, tieremahr, p 16/77 [www.journees-recherche-porcine.com/text/1969/69txtalim/a6905.pdf](http://www.journees-recherche-porcine.com/text/1969/69txtalim/a6905.pdf)

**P**

**Percheron F , Perles R et Foglietti P, 1981** : abrégé de biochimie générale. Paris : Masson

**Pobeda M , 2011** : Huile de maïs, 2 p , [articles of huile.com](http://articles.ofhuile.com)

**Protector, 1978** : créons la nutrition de demain, alimentation animale.

## R

**Rouau M, Thibault M, 1987** : Les fibres alimentaires, Ed-A.P.R.I.A. 355 p.

## S

**Sansoucy R , 1991** : Problèmes généraux de l'utilisation des sous-produits agro-industriels en alimentation animale dans la région méditerranéenne - Série Séminaires - n° 16 - p 75-79

**Saulnier L, 1996** : Du son de maïs à la place de la gomme arabique. INRA/n « des molécule à tout faire »

**Sabloniere B , 2001** : Nutrition: carrières sanitaires et sociales .Edit ellipses.181p.

**Sabegh A, Tsouri Bentsouri B, 2006** : l'enrichissement des pâtes alimentaires par l'incorporation du son et le suivi du produit pendant 5 mois de conservation, mémoire de fin d'étude, FSAVB, blida

**Sarah S, 2010** : le citoyen Quotidien indépendant. Edition du lecitoyen-dz.com le 16 octobre 2010

## T

**Tram G, et Sauvart D, 2001** : Données chimiques et valeur nutritive. In tables de composition et valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevages. 17-24.

## W

**Watson S, 1987** : Structure et composition. Ed. Carn. chimie et la technologie p. 53-82. EtatsUnis.

**Wych, R.D. 1988** Production of hybrid seed corn. In G.F Sprague and J.W. Dudley, Eds. Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18; pp. 565-605. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.



# Sommaire

Introduction	5
Partie 1 : <b>Etude bibliographique</b>	
Généralité sur les céréales	8
CHAPITRE I : Le maïs	
I. Origine et historique	10
II. Production et échanges commerciaux dans le monde	10
<b>II.1. Les exportations du maïs</b>	<b>11</b>
<b>II.2. Les importations du maïs</b>	<b>11</b>
<b>III. Production et commercialisation du maïs en Algérie</b>	<b>12</b>
<b>IV. filière du maïs</b>	<b>13</b>
V. Plante du maïs	13
V.1. Caractéristique morphologique de la plante	13
<b>V.2. Classification du maïs</b>	<b>15</b>
V.3. Exigence de la plante (pédoclimatique)	16
VI. Graine du maïs	16
<b>VI.1. composition morphologique de la graine</b>	<b>16</b>
VI.2. Qualité nutritionnelle	17
VI.3. Composition chimique de la graine de maïs	17
<b>VI.3.1. Les glucides</b>	<b>18</b>
<b>A. Amidon</b>	<b>18</b>
<b>B. Autres glucides</b>	<b>19</b>
<b>VI.3.2. Les protéines</b>	<b>19</b>
<b>VI.3.3. Les lipides</b>	<b>20</b>
<b>VI.3.4. Les éléments secondaires</b>	<b>21</b>
<b>A. Fibres alimentaires</b>	<b>21</b>
<b>B. Sels minéraux</b>	<b>21</b>
<b>C. Vitamines</b>	<b>21</b>
- Vitamines liposolubles	21
- Vitamines hydrosolubles	21
CHAPITRE II : Les sous-produits du maïs	

<b>I. Transformation technologique « exemple principe des amidonneries »</b>	<b>23</b>
<b>I.1.Comment obtenir de l'amidon</b>	<b>23</b>
<b>A. <u>Le broyage complet</u></b>	<b>23</b>
<b>B.<u>La mouture sèche</u></b>	<b>23</b>
<b>C.<u>La mouture humide</u></b>	<b>23</b>
<b>I.2.Les étapes de transformations -principe des amidonneries-</b>	<b>24</b>
- Etape 1. Trempage	24
- Etape 2. Broyage grossier	24
- Etape 3. Séparation des germes	24
- Etape 4. Broyage fin	24
- Etape 5. Criblage	24
- Etape 6. Centrifugation	24
- Etape 7. Traitement et utilisation de l'amidon	24
<b>I.3.Domaine d'utilisation de l'amidon</b>	<b>26</b>
<b>II. Les sous produits issus du procès amidonneries</b>	<b>26</b>
<b>II.1.Le son de maïs</b>	<b>26</b>
<b>II.2.Les germes de maïs</b>	<b>27</b>
<b>II.3.Le tourteau de germe de maïs</b>	<b>27</b>
<b>II.4.Le soluble d'amidonnerie</b>	<b>27</b>
<b>II.5.L'huile de maïs</b>	<b>28</b>
<b>III. Les coproduits du maïs</b>	<b>28</b>
<b>III.1.Le corn gluten feed</b>	<b>28</b>
<b>III.2.Le gluten meal</b>	<b>28</b>
<b>III.3.Les DDGS</b>	<b>28</b>
<b>III.4.Le gluten de maïs (gluten)</b>	<b>28</b>
<b>CHAPITRE III : Importance du maïs et ces sous produits</b>	
<b>I. Importance du maïs et ses sous produits dans la nutrition</b>	<b>31</b>
I.1. Définition de la notion nutrition	31
<b>II. Importance du maïs</b>	<b>32</b>
<b>II.1.Dans l'alimentation humaine</b>	<b>32</b>
<b>II.2.Dans l'alimentation animale</b>	<b>33</b>
<b>II.2.1.Mais fourrage</b>	<b>33</b>
<b>II.2.2.Le maïs grain humide</b>	<b>33</b>

II.2.3. Les aliments composent	34
II.3. Autre utilisation	34
III. Les domaines d'utilisation des sous-produits exemple de l'amidon de mais	35
VI. Autres usages	35

## Partie 2 : Etude expérimental

### Chapitre I : matériels et méthodes

I. But et intérêt de l'expérimentation	38
I.1. Présentation de l'Unité Laboratoire ONAB Trade	38
I.2. Conditions expérimentales	38
• Matériels végétales	39
• Matériels utilise au laboratoire	39
• Echantillonnage	39
• Mode opératoire	39
II. Analyses physico-chimiques	40
II.1. Objectif	40
II.2. Méthodes d'analyse physico-chimique	40
II.2.3. Teneur en eau	40
II.2.4. Teneur en cendres	40
II.2.5. Teneur en protéine totale (méthode KJELDHAL)	41
II.2.6. Dosage de la matière grasse	42
II.2.7. Dosage de la cellulose brute	42
II.2.8. Teneur en glucides	43
A. Dosage des sucres	43
B. Dosage de l'amidon	43
III. Analyse microbiologique	44
III.1. Objectif	44
III.2. Méthodes d'analyse microbiologique	44
IV.2.1. Préparation de la solution mère et les dilutions décimales	44
III.2.2. Recherche et dénombrements des anaérobies sulfito	



réducteur	45
III.2.3. Recherche et dénombrement des levures et moisissures	45
<b>Chapitre II : Résultats &amp; Discussions</b>	
<b>I. Caractéristique physico chimique</b>	<b>48</b>
I.1. La teneur en eau	48
I.2. Teneur en cendres	48
I.3. Dosage De La Matière Grasse	49
I.4. La teneur en protéines	49
I.5. taux de la cellulose brute	50
I.6. Teneur en amidon	50
I.7. teneur en sucre totaux	50
I.8. détermination et calcule de la valeur énergétique	51
<b>II. Les analyses microbiologiques</b>	<b>51</b>
<b>III. Discussions</b>	<b>52</b>
<b>Conclusion général</b>	<b>55</b>
<b>Annexe 01 : Appareillage</b>	
<b>Annexe 02 : Mode Opérateur</b>	