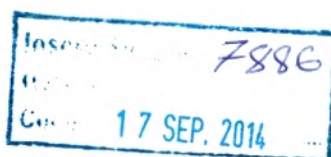




Mémoire de fin de cursus en vue de l'obtention du diplôme de Master en Agronomie

Option : Amélioration de la production végétale

Thème



Transformation de maïs par la voie humide

Par :

BOUABIDA Khayerddine
BELGHARRI Walid

Membres du jury :

Président :

AZZI Nouredine

Examineurs :

TEFIANI Chokri
BENYOUB Nouredine

Promoteur :

BARKA Mohammed Salih

Grade :

Maître assistant A

Maître assistant A

Maître assistant B

Maître de conférences B



Remerciement

Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre reconnaissance a tous ceux qui par leur apport multiformes ont contribué a la réalisation de ce travail :

Notre encadreur Mr Barka Salih pour sa détermination, ces conseils prodigués, et son entière disponibilité.

On remercie vivement les membres de jury présidé par monsieur AZZI Noureddine et en remercie aussi les deux autres examinateurs monsieur TEFIANI Chokri et BENYOUB Noureddine d'avoir juger et examiné notre modeste travail.

A titre personnel nous remercions très sincèrement Mr Zeryahen houcine le directeur genégarle de l'a maiserie de la tafna *Je remercie également monsieur* Mougasse mohammed le chef de production de l'unité pour son aide et son soutien tout au long de notre stage et aussi Tema Zaidi qui nous a aide durant la rédaction.

Nous remercions également tout les membres et les salariés de l'amidonnerie de maghnia qui nous ont aidé chacun a sa manière.

Bouabida khayreddine
Belgharri Walid



Dédicace

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

Mon Père.

A ma mère : ton souvenir reste à jamais gravé dans ma mémoire.

Paix à ton âme.

A celle qui n'a pas cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études..

Ma belle Mère.

A mes frères et sœurs, ainsi que mes adorables neveux et nièces.

A mon chère ami Bouabdellah Fayçal, et ces parents tonton

Halim et Tata Nacéra .

A mes amis et tous ceux qui me sont chers...

Bouabida khayreddine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents avec tous mes sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleures conditions.

À mes frères.

Ainsi que mes amis sans exception.

Belgharri Walid

Résumé :

L'amidon est le glucide alimentaire le plus important chez l'être humain et devrait représenter la plus grande part quantitative de l'apport glucidique et énergétique quotidien. Il est la base d'une alimentation saine. L'amidon nous fournit l'énergie nécessaire régulièrement tout au long de la journée. Mais l'utilisation de l'amidon ne s'arrête pas juste ici et pour cela la fréquence de la demande sur les amidons et leurs dérivées a augmenté de façon considérable au cours des dernières années en raison de l'usage extensif de ces derniers dans l'alimentation humaine et animale mais aussi en pharmacie et cosmétologie, en papeterie et dans certaines applications industrielles.

A cet effet et dans le cadre de la valorisation des plantes riches en amidon on s'est intéressé à une plante de la famille des poacées qui est l'une des familles les plus cultivées au monde utilisée comme source principale de nourriture.

La plante sur laquelle a porté notre choix est le maïs du nom scientifique (*Zea mays*) puisque elle est très riche en amidon. Le premier objectif de ce travail est de mettre en évidence la transformation de maïs en produits principaux qui est l'amidon et en d'autres produits dérivés à divers intérêts, le second objectif c'est la compréhension de la manière dont de cette plante est capable de synthétiser les composés amyliques et comment elle peut fournir des biomasses importantes des amidons.

La mise en évidence de la transformation de maïs dans ce travail a été étudiée dans une amidonnerie de transformation de maïs par la voie humide et grâce à cette méthode on obtiendra un produit majeur (amidon) et toute une gamme de produits et sous-produits importants et demandés dans plusieurs industries.

Mots clés :

Maïs, amidon, transformation, voie humide, Métabolisme photosynthétique, plantes C4.

Abstract :

Starch is the most important dietary carbohydrate in humans , and should represent the largest part of the quantity carbohydrate and daily energy intake. It is the basis of a healthy diet. Starch gives us the energy needed regularly throughout the day.

But the use of starch does not stop right here and this is why the frequency demand of starches and their derivatives has increased dramatically in recent years due to the extensive use of the latter in the food and feed but also in pharmacy and cosmetology, stationery and some industrial applications.

For this purpose and in the context of the valorisation of plants rich in starch we became interested in a plant of the grass family which is one of the most cultivated in the world used as the main source of food .

the plant on which we have based our choice is corn which it (*Zea mays*) is her scientific name as it is very rich in starch. The first objective of this work is to highlight the transformation of starch in primary products but in other products to various interest, the second goal is the understanding of how this plant is able to synthesize starch compounds and how it can provide all that important biomass of starches.

The highlight of the transformation of corn in this work was studied in a factory of corn processing by wet way and thanks to this method would yield a major product (starch) and a range of others products requested in several industry.

Keywords:

corn, starch , processing, wet process , photosynthetic metabolism, c4 plants.

ملخص

النشا هو الكربوهيدرات الغذائية الأكثر أهمية في البشر ويجب أن تمثل النصيب الأكبر من الكربوهيدرات وكمية الطاقة المتناولة يوميا. ذلك هو أساس اتباع نظام غذائي صحي. النشا يعطينا الطاقة اللازمة بانتظام على مدار اليوم.

ولكن استخدام النشا لا يتوقف هنا، ولماذا زاد وتيرة الطلب على النشويات ومشتقاتها بشكل كبير في السنوات الأخيرة بسبب الاستخدام المكثف لهذا الأخير في الغذاء والأعلاف ولكن أيضا في الصناعات الدوائية ومستحضرات التجميل، وبعض التطبيقات الصناعية.

لهذا الغرض، وفي سياق الانتعاش من النباتات الغنية بالنشا أصبحنا مهتمين بالنباتات لعائلة الحشائش التي تعد واحدة من أكثر المزروعة في العالم تستخدم كمصدر رئيسي للغذاء. النبتة الذي قمنا باختيارها الذرة ذات الاسم العلمي (*Zea mays*) لأنها غنية جدا بالنشا.

الهدف الأول من هذا العمل هو تسليط الضوء على التحويل الذرة إلى منتج الرئيسي هو النشا وغيرها من المنتجات لفائدة مختلفة الهدف الثاني هو فهم كيف أن هذا النبات قادر على تركيب النشا وكيف يمكن أن توفر الكتلة الحيوية الهامة من النشويات.

في هذا العمل تم انجازه في مصنع خاص بتحويل الذر و تم أيضا تسليط الضوء على كيفية تحويل الذر باستعمال الماء إلى المنتج الرئيسي هو النشا و إلى منتجات أخرى مطلوب في مختلف الصناعات.

الكلمات الرئيسية:

الذرة، النشا، تحويل الرطب، التركيب الضوئي، نباتات C4

Tables des matières

Liste de tableau et diagramme

Liste des figures

Liste des Symboles et Abréviation

Table des Matières

Introduction

Chapitre I Généralité sur le maïs

I - Présentation de la plante	3
II- la plante de maïs	3
II-1. classification.....	4
II-2. Variétés du maïs	4
II- 3. Anatomie du maïs	5
II-3.1 Les racines.....	5
II-3.2 La tige.....	5
II- 3.3 Les feuilles.....	6
II-3.4 Les inflorescences et les fleurs.....	7
II-3.5 Les fruits.....	8
II-4. Mode de reproduction du maïs	10

Chapitre II production et mise en place de maïs

I-Mise en place	11
I-1 Conditions écologiques	11
I-2. Choix des variétés et des semences	11
I-3. Choix du terrain	11
I-4. Matériel nécessaire.....	12
I-5. Précédents culturaux	12
I-6. Préparation du terrain	12
I-7. Semis	13
I-8. Végétation	13
I-8.1. Phase de germination	14
I-8.2. Phase de croissance	14
I-8.3. Phase de floraison	14

I-8.4. Phase de maturation	15
I-9. Entretien	15
I .9.1. Fertilisation.....	15
I.9.2 Désherbage	15
I-10. Récolte	16
II- La production du maïs grain dans le monde	17
III- Les utilisations du maïs	18
VI- Les caractéristiques nutritives du maïs	18
VII -Le maïs et l'industrie	18

Chapitre III Amidonnerie

I-objectif du travail	19
II-Site d'étude	20
II -1. Matériel végétal	20
II-2. Matériels et équipements mécaniques et physiques	20
II-3. Matériel chimique	20
III. La Transformation du maïs par voie humide.....	21
III - 1. Processus de fabrication	21
III - 1.1. Réception et nettoyage	21
III - 1.2. Trempage	22
III - 1.3. Broyage et dégermage	22
III - 1.4. Lavage et séchage	23
III- 1.5. Centrifugation, raffinage et séchage	23
III - 1.6. L'hydrolyse et concentration	23
III - 1.7. Séchage et tamisage	23
III - 2. Diagramme de transformation de maïs	24
III- 3. Contrôle de qualité et Analyses physicochimique... ..	24

Chapitre IV Les produits issues la transformation du maïs

I. Produits principales	26
I.1. L'Amidon	26
I.1.1. Caractéristiques physico-chimiques	26
I.1.2. Applications.....	26
I.2. Le Sirop de Glucose	27
I. 2.1 Caractéristiques physico-chimiques	27

I.2.2 Applications.....	28
I.3. Les Dextrines..	28
I.3.1 Caractéristiques physico-chimiques	29
I.3.2 Applications.....	29
I.4. Gluten de maïs..	30
I.4.1 Caractéristiques physico-chimiques... ..	30
I.4.2 Applications	30
I.5. Les sous-produits	30
I.5.1.Germes de maïs	30
I.5.2.Coques de maïs	31
I.5.3. Liqueur de trempé.....	31

II- Origine de la richesse du maïs en amidon

II.1 Amidon est le produit majeur issu de la transformation de maïs	31
II.2.la photosynthèse	31
II.2-1- Différents types de photosynthèse.....	33
II.2-2 Métabolisme photosynthétique de maïs	33
II.2-3 Avantages du métabolisme des plantes	34
II.2-4 Synthèse des glucides et de l'amidon dans les feuilles en C4	35
II.2-5 Synthèse de l'amidon de réserve.....	37

Conclusion

Liste des tableaux et diagrammes

Diagramme : transformation de maïs	24
Tableau : composition chimique de grain de maïs	9

Liste des figures

Figure01 : plante de maïs	4
Figure02 : Trois variétés de maïs et Épis nus de maïs.....	5
Figure03 : Anatomie du maïs	6
Figure04 : Épillet en fleur	7
Figure05 : Constitution d'une graine de maïs	8
Figure06 : Mode de reproduction du maïs - Fécondation croisée	10
Figure07 : Écartements dans un champ de maïs	13
Figure08 : Développement de la variété tardive du maïs	14
Figure09 : Champ bien entretenu	15
Figure10 : Récolte du maïs-ensilage à l'aide d'une ensileuse	13
Figure11 : Production mondiale du maïs en 2002	14
Figure12 : réception de maïs importé	21
Figure13 : Bac en inox de trempage	22
Figure14 : amidon	27
Figure15 : sirop de glucose	28
Figure16 : dextrine.....	29
Figure17 : gluten	30
Figure18 : métabolisme photosynthétique dans un chloroplaste.....	32
Figure19 : métabolisme photosynthétique C4 à enzyme malique	34
Figure20 : Structure de l'amidon	36

List des symboles et des abréviations

AOA : acide oxaloacétate

Atp : adénosine triphosphate

O.G.M : organisme génétiquement modifié

Q : quintal

H : hectare

Mt : million de tonne

Ppm : seuil olfactif

°C : degré Celsius

Mm : millimètre

G : gramme

Kg : kilos gramme

M : mètre

Cm : centimètre

P.E.P : phosphoénolpyruvate

So₂ : dioxyde de soufre :

Co₂ : dioxyde de carbone

Na₂CO₃ : carbonate de sodium

HCL : acide chlorhydrique

% : pourcentage

Transformation du Maïs

Par voie Humide

Introduction

Introduction

Le maïs, céréale vivrière traditionnelle des civilisations des deux Amériques depuis l'époque précolombienne, demeure encore principalement cultivé dans le Nouveau Monde (**60 p. 100 de la production mondiale**). Parallèlement à ses utilisations en alimentation humaine et animale, le maïs constitue une matière première industrielle de plus en plus recherchée en raison de sa richesse en amidon.

Il présente aussi l'avantage d'être la céréale la moins chère sur le marché mondial. Cela explique pourquoi le maïs est devenu depuis peu la première céréale mondiale. La production, près de 700 millions de tonnes en 2006, dépasse désormais nettement celles de paddy (riz non décortiqué, 625 millions de tonnes en 2006) et de blé (593 millions de tonnes en 2006). [1]

Chaque année, 60 millions de tonnes d'amidon sont extraits de diverses cultures de céréales, de racines et tubercules pour être utilisés dans une palette impressionnante d'applications, L'amidon est un homopolyside présent naturellement dans les céréales, pommes de terre et légumineuses.

D'une manière générale, ce glucide est l'une des principales sources d'énergie de l'alimentation humaine et animale, mais c'est aussi un élément de structure, de texture ou de consistance de beaucoup de préparations culinaires, il fait partie des additifs alimentaires.

Les statistiques dans le secteur de l'amidon sont rares, notamment parce que les fabricants restreignent la diffusion de données pour protéger leurs intérêts commerciaux. D'un point de vue international, on constate que plus de la moitié de la production mondiale en amidon provient des États Unis, pays où le principal produit de base est le maïs.

La Communauté européenne, qui fabrique moins de la moitié de son amidon à partir du maïs, est quant à elle le premier producteur mondial d'amidon de blé et de fécule de pomme de terre. En fait, la demande mondiale d'amidon est passée de 15 % à 15,3 % entre 1995 et 2000, et le taux de croissance annuel a été légèrement supérieur à 4 %. Au cours de notre décennie, la demande communautaire de produits

Introduction

amylacés devrait progresser à un rythme annuel inférieur à 3 %, ce qui devrait se traduire par une expansion du marché de 7,4 millions de tonnes en 2000 à 9 millions de tonnes d'ici 2010.

En 2000, la part de la Communauté dans les exportations mondiales de produits amylacés était d'un peu plus de 25 %. [2]

Par ces quelques données économiques, on peut se rendre compte que le secteur des amidons est un secteur important. Son développement industriel est donc capital.

Le secteur des amidons est très vaste, nous aborderons donc dans ce rapport l'étude des amidons issue de la transformation par voie humide du maïs et pour bien comprendre ce processus industriel on a fait un stage dans une amidonnerie qui est l'unique en Algérie, le maïs est la principale source d'amidon et l'unique matière première dans cette amidonnerie.

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralité sur le maïs

I. Présentation de la plante :

Le maïs (*Zéa maïs*,) est une céréale cultivée dans diverses zones agro-écologiques, seul ou en association avec la plupart des cultures. Dans plusieurs pays, le maïs constitue l'aliment de base de nombreuses populations.

Dans l'alimentation humaine, le grain de maïs est utilisé sous plusieurs formes (cuit, grillé, en salade, en soupe...). On peut aussi le transformer pour obtenir une gamme variée de produits comme des farines et semoules de maïs. Il intervient également dans l'alimentation animale (volailles, porcs, bovins) en grains, en provenderie ou comme fourrage. Il sert aussi de matière première dans certaines industries (agroalimentaire, textile, pharmaceutique, etc.), pour la création de plastiques biodégradables, de biocarburants et même de l'alcool.

Avec une production moyenne annuelle d'environ 817 millions de tonnes en 2009, le maïs est la céréale la plus cultivée avant le blé (681 millions de tonnes) et le riz (678 millions).

La plante peut mesurer plus de 2 m de hauteur. Elle se compose d'une tige unique sur laquelle poussent de longues feuilles et des fleurs mâles (situées sur la panicule terminale) et femelles. Les rendements moyens des variétés traditionnelles en milieu paysan sont de l'ordre de 0,8 tonne par hectare contre 2 à 5 tonnes pour les variétés améliorées. [3]

II. la plante de maïs :

La plante de maïs est caractérisée par son anatomie, sa physiologie, son développement et sa résistance naturelle.



Figure 01 : plante de maïs [4]

II. 1. classification

Nom : Maïs

Nom scientifique : *Zea mays*

Famille : *Poacées* (graminées)

Origine : Amérique centrale

II. 2. Variétés du maïs :

Une grande diversité de variétés de maïs est cultivée à travers le monde pour divers usages. C'est ainsi qu'on distingue :

- Le maïs doux (*Zea mays saccharata*)
- Le maïs blanc dont la teneur des grains en xanthophylles et en carotènes est extrêmement faible
- Le maïs corné (*Zea mays indurata*) qui est utilisé pour la confection de corn Flakes
- Le maïs perlé (*Zea mays everta*), très pratique pour la confection de popcorn
- Le maïs cireux (*Zea mays ceratina*), largement utilisé comme épaississant en raison de sa teneur élevée en amylopectines.

La recherche a mis au point des variétés riches en des substances spécifiques. On a ainsi des variétés de maïs riches en huiles, des variétés riches en lysine etc. Des variétés OGM telles que le maïs BT ont été mises au point en vue de permettre à la plante de combattre ses ravageurs. [5]



Figure 02 : Trois variétés de maïs / Épis nus de maïs doux [6]

II. 3. Anatomie du maïs :

Le maïs est une plante herbacée annuelle de 40 cm pouvant atteindre 5m. De nombreuses variétés existent selon les différentes caractéristiques, mais celles couramment cultivées ont une taille variable d'1 à 3 m. [7]

II. 3.1 Les racines

Les racines, du type fasciculé, sont superficielles et ne dépassent pas 50 cm de profondeur. Des racines adventives aériennes ou crampons se forment sur les nœuds de la base des tiges. [7]

II. 3.2 La tige

La tige est longue d'1,5 à 3,5 m et d'un diamètre important, variant de 5 à 6 cm. Elle est lignifiée, remplie d'une moelle sucrée, formée de nœuds et d'entrenœuds (d'une vingtaine de cm chacune). Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille de façon alternative sur la tige. [7]

II. 3.3 Les feuille

Elles sont de grande taille (jusqu'à 10 cm de large et 1 m de long) et engainantes (qui collent à la tige par sa base) avec un limbe plat allongé en forme de ruban à nervures parallèles. Entre le limbe et la gaine, on distingue une petite ligule. [7]

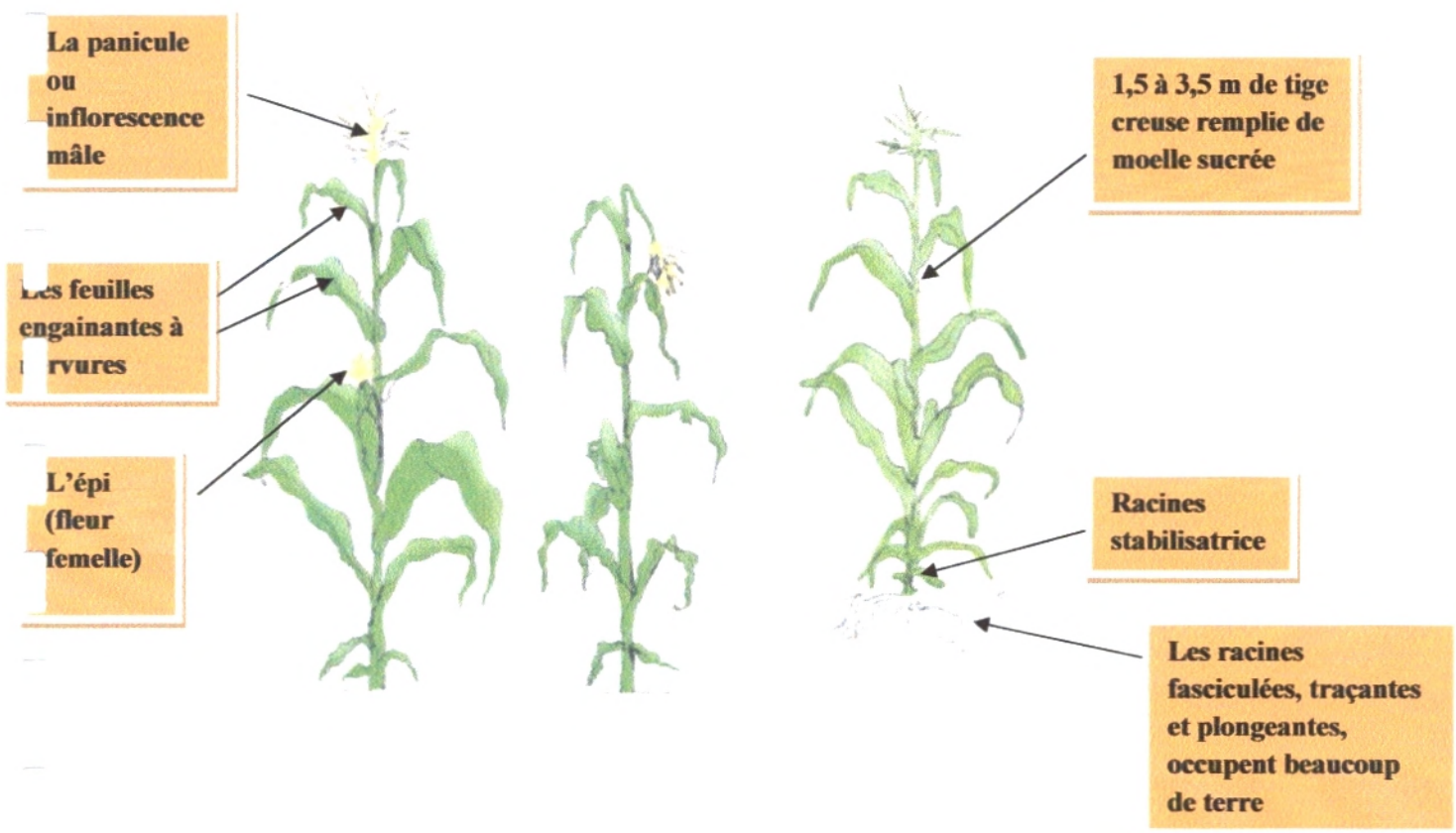


Figure 03 : Anatomie du maïs [7]

II. 3.4 Les inflorescences et les fleurs

On trouve sur un même pied, une inflorescence mâle et des inflorescences femelles séparées. L'inflorescence mâle est une panicule terminale composée d'épillets contenant chacun deux fleurs mâles. Les fleurs mâles sont composées de glumes et glumelles entourant trois étamines. Une à quatre inflorescences femelles sur chaque pied. Elles sont situées sur l'aisselle des plus grandes feuilles au milieu de la tige. Ce sont des épis enveloppés dans des feuilles modifiées appelées « spathes » qui se dessèchent à maturité. Chaque épi est constitué par un « rafle » sur lequel sont insérés en rangées verticales des centaines d'épillets à deux fleurs femelles dont une seule est fertile. Au moment de la fécondation, les styles des fleurs sortent à l'extrémité supérieure des épis sous forme de stigmates filiformes (partie supérieure du pistil en forme de fil) ou de soies vertes ou rosées. Les fleurs femelles possèdent chacune un ovaire surmonté d'un style très long. [7]

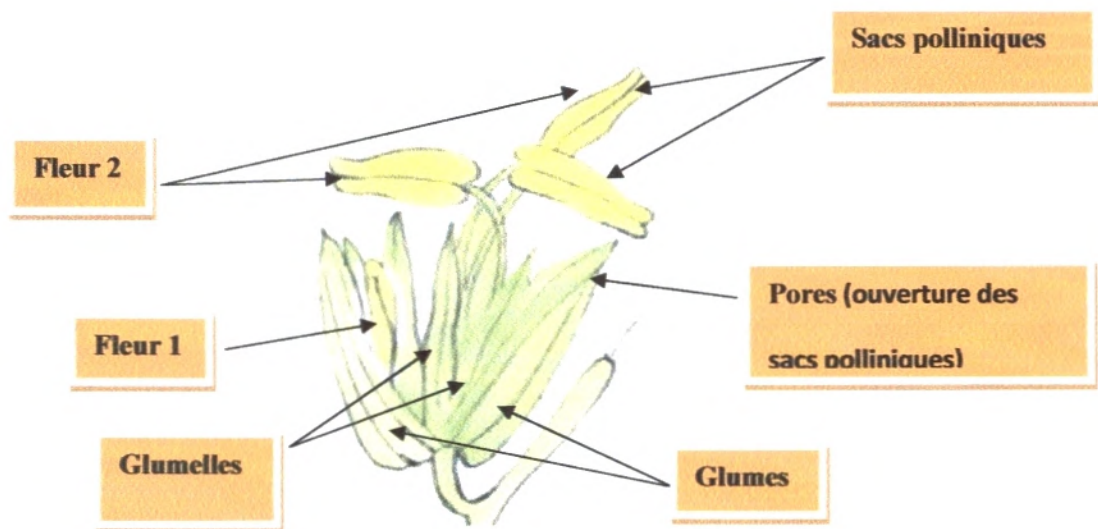


Figure 04 : Epillet en fleur [7]

Les fleurs mâles fleurissent avant les fleurs femelles. La fécondation est donc croisée.

II. 3.5 Les fruits

Un pied donne naissance à trois ou quatre épis, mais un seul atteint généralement son développement complet. Selon les variétés, les grains sont disposés en 8 à 20 rangées verticales le long de l'axe de l'épi, appelé rafle. Ils ont des formes multiples (globulaire, ovoïde, prismatique, etc.), et de différentes couleurs (blanc, jaune roux, doré, violet, noir). Ils sont parfois lisses ou ridés. Un épi peut contenir environ 500 à 1 000 grains avec un poids moyen de 150 g à 330 g à maturité. Chaque grain est composé d'un germe (embryon + cotylédon), d'un albumen et d'un péricarpe qui est une enveloppe extérieure dure qui empêche l'entrée de champignons et de bactéries. [7]

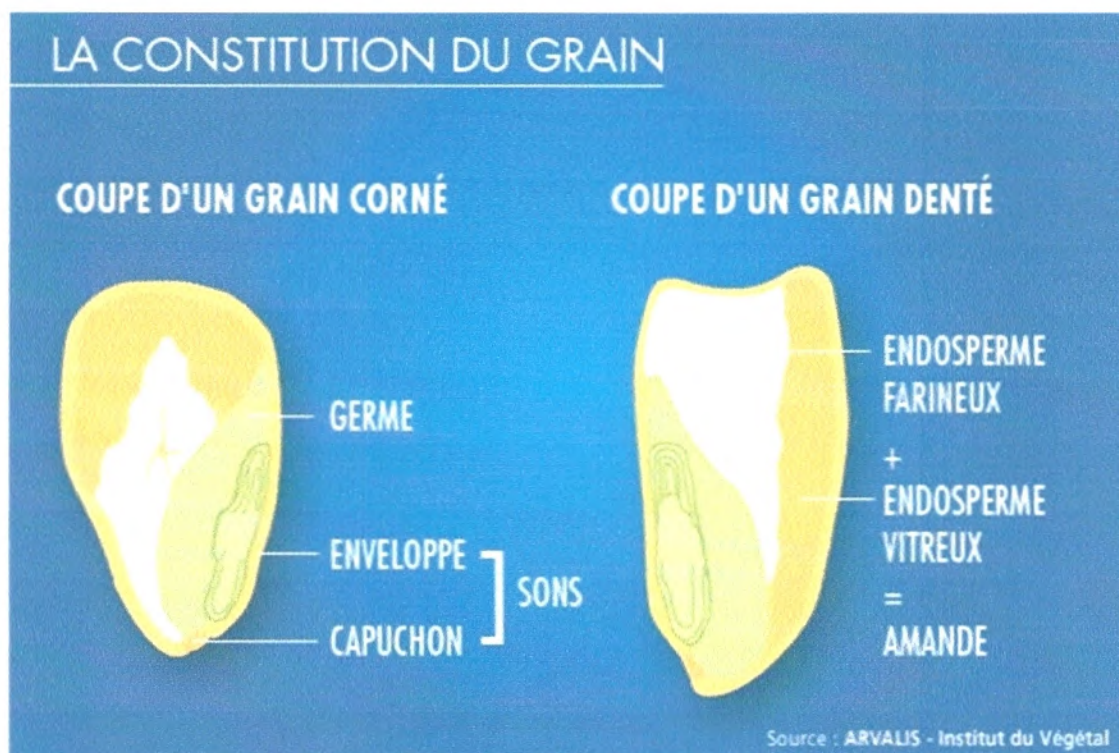


Figure 05 : Constitution d'une graine de maïs [8]

Les réserves énergétiques représentent 80 à 84 % du poids total du grain frais. Composées de féculés (90 %) et de protéines (7 %), accompagnées par des huiles, des minéraux et d'autres composés, elles fournissent de l'énergie à la plante au cours de son développement. Le germe à l'extrémité inférieure du grain

Chapitre I Généralité sur le maïs

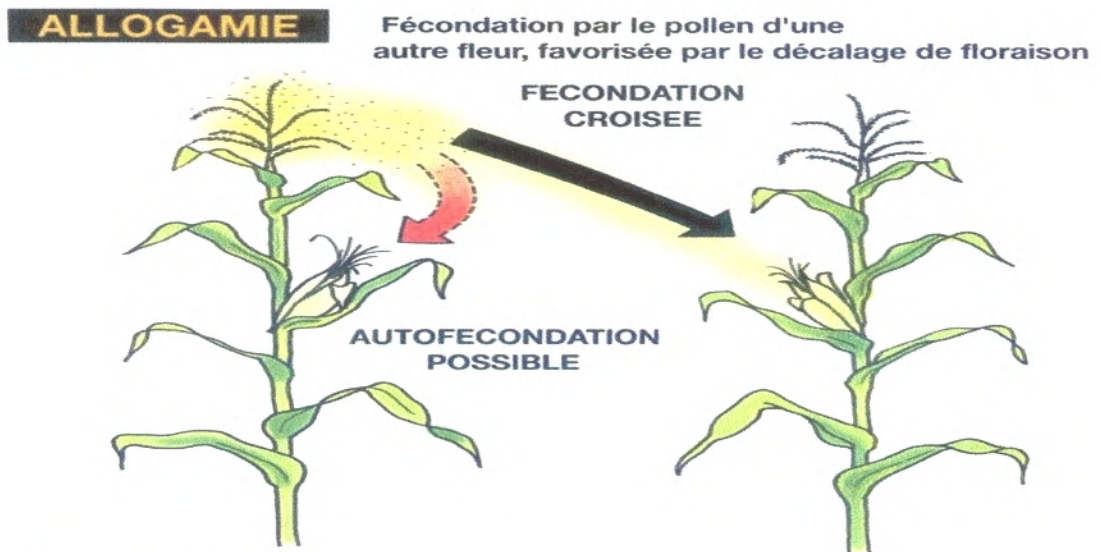
occupe 9,5 à 12 % du volume total de la graine. Dans l'huile de la graine mature, le germe contient un pourcentage élevé (35 à 40 %) [7]. La composition chimique des parties des grains de maïs est synthétisée ci-dessous :

Composants chimique	<i>Péricarpe (%)</i>	<i>Albumen (%)</i>	<i>Germe (%)</i>
Protéines	3,7	8,0	18,4
Extrait à l'éther	1,0	0,8	33,2
Fibres brutes	86,7	2,7	8,8
Cendres	0,8	0,3	10,5
Amidon	7,3	87,6	8,3
Sucre	0,34	0,62	10,8

Tableau 01 : Composition chimique des grains de maïs [7]

II. 4. mode de reproduction du maïs :

Généralement, les anthères du maïs sont mûres de 2 à 4 jours avant que les styles (soies) ne deviennent réceptifs : le maïs est dit protandre. Du fait de la monoecie et du décalage dans le temps de la maturité mâle et femelle, la fécondation croisée est favorisée. Le maïs est donc naturellement une espèce allogame. Il est auto fertile mais avec une forte dépression de consanguinité. Le maïs maintenu en populations isolées (sans contrôle de la pollinisation) est formé d'individus hétérozygotes mais proches les uns des autres pour un certain nombre de caractères. Les caractéristiques globales de ces populations (ou "variétés de pays") se maintiennent assez bien au cours des générations successives. [9]



conséquence...

POPULATION

Le maïs, maintenu en populations isolées est formé d'individus hétérozygotes proches les uns des autres



Figure 06 : Mode de reproduction du maïs - Fécondation croisée [7]

Chapitre II

Production et mise en place du

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

L'implantation est une phase capitale pour la production du maïs et se fait selon un itinéraire technique bien précis. [10]

I. Mise en place :

I. 1. Conditions écologiques :

Cultiver dans de nombreuses régions (forêt équatoriale, savane...), la zone climatique la plus propice est celle des savanes avec une pluviométrie de 800 à 1 200 mm et un ensoleillement important qui réduit le parasitisme. Le maïs a besoin d'une température de 10 °C à 19 °C. L'altitude ne doit pas dépasser 1 800 m. [11]

I. 2. Choix des variétés et des semences :

Le choix des variétés dépend de la zone de culture, du climat, du sol, de la technique culturale et de l'utilisation des récoltes. [11]

I. 3. Choix du terrain :

Le maïs est exigeant pour le sol, l'eau et la chaleur.

- Le maïs aime les sols profonds, meubles, frais, assez légers, bien drainés, fertiles et riches en matière organique. Il n'est pas adapté aux sols acides, salés et gorgés d'eau. Il préfère les sols à texture intermédiaire : sablonneux, sablo-argileux à argilo-sableux.
- Le maïs n'aime pas les terres trop tassées et les terres creuses, les sols trop argileux ou trop sableux et les sols pauvres en matière organique (moins de 1 %). Il répond bien sur un sol à structure continue, bien appuyée, sans zone de discontinuité et sans semelle.
- Le manque d'eau à la formation des épis (floraison) est catastrophique pour le rendement. S'assurer que le semis et la floraison se fassent en saison pluvieuse.
- En dessous de 10 °C, il n'y a pas de germination des graines.
- Le terrain doit être accessible, d'un relief peu accidenté avec une pente inférieure à 12 % pour faciliter l'aménagement à moindre coût. [11]

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

I. 4. Matériel nécessaire :

- Les houes ou herses servent à stripper les mauvaises herbes, casser les mottes de terre lors de la préparation du lit de semis.
- Les machettes sont des couteaux à lame épaisse et longue qui permettent de couper la végétation abondante lors du débroussaillage.
- Les balances ou pesons de dosage d'engrais sont utilisés pour doser les engrais, d'autres fertilisants ou pesticides afin d'éviter les désagréments.
- Les seaux d'application d'engrais servent à l'épandage de l'engrais grâce à certaines commodités.
- Les cordeaux permettent de faire les mensurations ou tracer les écartements lors de la mise en terre. [11]

I. 5. Précédents culturaux :

Le précédent cultural dépend de la texture du sol et son état de dégradation. La culture du maïs est idéale après la jachère, suivie d'un enfouissement de matières organiques.

Les meilleurs précédents sont :

- les légumineuses, telles que l'arachide, les pois, le niébé pour augmenter la teneur du sol en azote et en d'autres éléments nutritifs ;
- les tubercules et les racines tels que la pomme de terre ou le manioc pour faciliter un meilleur enracinement du maïs. [11]

I. 6. Préparation du terrain :

- Pour obtenir de meilleurs rendements, abattre le sous-bois (arbres, branches), car lorsqu'il y a suffisamment de lumière, le rendement est élevé;
- pour permettre un meilleur labour et des travaux d'entretien faciles, défricher (herbes) et nettoyer la parcelle;
- pour éloigner les rongeurs (hérissons, souris), nettoyer et dégager les alentours du champ ;
- pour une germination facile des graines, la terre labourée (profondeur 15 à 30 cm) doit être bien ameublie en billons ou à plat. [11]

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

I. 7. Semis :

- Prévoir 15 à 25 kilos de semences par hectare.
- Respecter les dates de semis (en début de saison pluvieuse) afin de permettre à la culture de bénéficier d'une bonne pluviométrie et d'un ensoleillement suffisant pendant la croissance. Il est à relever que le maïs peut aussi être semé en contre-saison.
- Traiter les semences avec un fongicide/insecticide/répulsif pour préserver contre les maladies et attaques des insectes terricoles, des ravageur (rats) et des prédateurs (corbeaux) afin d'obtenir une bonne levée et une densité optimale.
- Semer en ligne sur des billons ou à plat, à une profondeur d'environ 3 à 4 cm. Respecter les écartements : 0,80 m entre les lignes x 0,50 m entre les poquets, en semant 3 à 4 graines préalablement traitées au fongicide/ insecticide comme l'Apron Star ou carbofuran (Furadan 5G par exemple) par saupoudrage dans les cornets des plants, soit une densité de 50 000 plants à l'hectare. Placer les grains à une profondeur de 2 à 6 cm.
- Pour faciliter la germination, le sol doit être humide. [11]

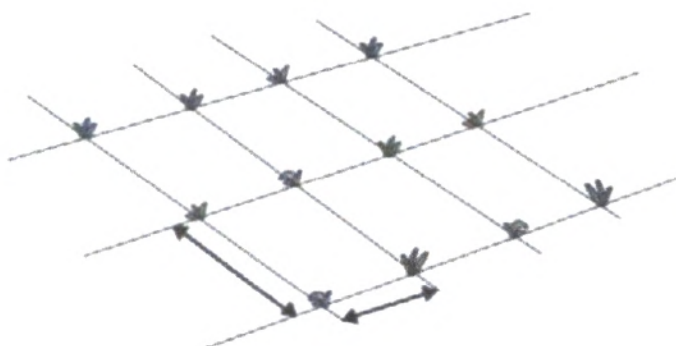


Figure 07 : Écartements dans un champ de maïs [11]

I. 8. Végétation :

Le cycle germinatif du maïs dure de 90 à 180 jours suivant la variété et les lieux de la culture. Le maïs passe par les phases de germination, de croissance, de floraison et de fécondation. [10]

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

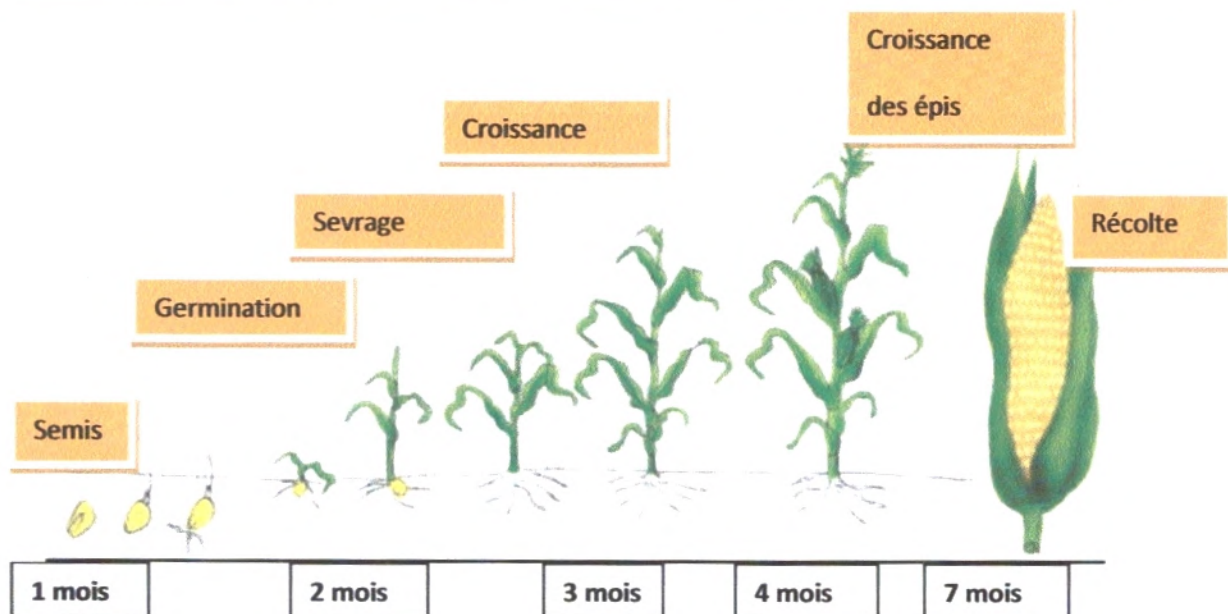


Figure 08 : Développement de la variété tardive du maïs [11]

I. 8.1. Phase de germination :

- Le grain gonfle sous l'influence de l'humidité.
- 2 à 3 jours après le semis apparaît la racicule.
- 3 à 4 jours après le semis apparaît la tigelle.
- La levée doit être générale 8 à 10 jours après le semis

I. 8.2. Phase de croissance :

- De la levée à l'apparition des inflorescences mâles, la croissance du maïs est lente. Ce stade dure plus ou moins longtemps suivant les variétés, la température ambiante et l'état d'humidité du sol.
- 4 à 5 semaines après le semis, le maïs atteint 10 à 15 cm de hauteur.
- 60 jours après le semis, le maïs a 50 à 60 cm de hauteur environ.

I. 8.3. Phase de floraison :

- Dès que la croissance est terminée, l'inflorescence mâle apparaît, soit 70 à 95 jours après semis.
- Quelques jours après, les inflorescences femelles sont prêtes pour la fécondation, soit 5 à 8 jours après l'apparition des inflorescences mâles.

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

I. 8.4. Phase de maturation :

- Les grains, une fois formés, passent trois stades successifs (stade laiteux, stade pâteux, stade sec).

I. 9. Entretien :

I.9.1. Fertilisation

La fertilisation dépend des exigences de la variété et des conditions de la zone de culture. En raison de leur caractère onéreux, le coût des engrais et leur épandage ne doivent pas engloutir une grande part de la production, bien que le maïs soit parmi les céréales répondant le mieux aux fumures et entretiens culturaux.

I.9.2. Désherbage :

- Faire le démariage 15 jours après la germination en éliminant des plants de trop et les moins vigoureux de façon à obtenir une densité régulière.
- Un désherbage régulier est nécessaire pour avoir un bon rendement. Il est fait manuellement ou par voie chimique avec un herbicide sélectif.
- Éliminer les mauvaises herbes, surtout pendant la phase végétative de la culture.



Figure 09 : Champ bien entretenu [11]

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

I. 10. Récolte :

La récolte du maïs-grains peut se faire en épis ou en grains. La récolte en épis peut se faire plus précocement, à un taux d'humidité allant de 35 à 45 %. Les épis sont séchés naturellement en silos-cage (*cribs*). On utilise à cet effet des cueilleurs-épanouisseurs, tractés ou automoteurs, qui récoltent les épis débarrassés de leurs spathes. La récolte en grains, la plus répandue actuellement, nécessite l'opération de battage (réalisée par des cueilleurs-égreneurs ou des moissonneuses batteuses adaptées, munies de bec cueilleurs), et suppose un taux d'humidité compris entre 20 et 35 %. Les grains doivent être séchés à l'air chaud pour ramener le taux d'humidité à 14-15 % permettant un stockage prolongé. Le maïs-fourrage se récolte à l'aide d'ensileuses qui hachent les plantes entières lorsque le taux de matière sèche atteint 30 % (grain rayable à l'ongle). Le maïs-fourrage est destiné aux ruminants et peut être ensilé ou utilisé comme fourrage frais. [12]



Figure 10 : Récolte du maïs-ensilage à l'aide d'une ensileuse [13]

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

II. La production du maïs grain dans le monde :

En 2002, la récolte mondiale de maïs grain a atteint 603 millions de tonnes. De 1950 à la fin des années 80, la production de maïs a été multipliée par 3,4. Depuis 1990, sa progression s'est ralentie puisqu'elle n'est plus que de +24 %. Dans la même période, les surfaces ont progressé de 5,6 % et les rendements moyens sont passés de 37 à 43 q/ha.

Les deux premiers producteurs, États-Unis et Chine, représentent près de 60 % du total mondial, 40 % pour les premiers et 20 % pour la seconde. En Europe, la France, l'Italie et la Roumanie sont les principaux producteurs. Le record de production est de 820 millions de tonnes en 2008. [14]

Les exportations mondiales représentent environ 100 millions de tonnes, soit 14 % de la production. Les cinq principaux pays exportateurs, plus de 80 % du total mondial, sont, en 2005, les États-Unis d'Amérique (49,2 Mt), l'Argentine (14,8 Mt), la Chine (9,1 Mt), la France (7,8 Mt) et l'Ukraine (3,1 Mt)

Les pays importateurs sont beaucoup plus diversifiés ; les cinq premiers, représentant un peu plus de 50 % du total sont, en 2005, le Japon (16,7 Mt), la Corée du Sud (8,7 Mt), le Mexique (6,0 Mt) l'Égypte (5,9 Mt) et la Chine (5,3 Mt).[15]



Figure 11 : Production mondiale du maïs en 2002 [14]

Chapitre II

Production et mise en place du Maïs

III. Les utilisations du maïs :

Dans les pays les moins développés, principalement en Amérique Centrale et du Sud, en Afrique, en Inde et en Asie du Sud-est, le maïs reste avant tout une culture vivrière, destinée à l'alimentation humaine. Il est consommé sous forme débouillie, de pâtes, de galettes cuites, etc.

Dans tous les autres pays le maïs est devenu la base essentielle de l'alimentation animale ainsi qu'une matière première très importante pour l'industrie. Le maïs conserve néanmoins une place dans l'alimentation humaine :

- maïs doux consommé en salade .
- maïs à éclater (pop-corn).
- maïs transformé entrant dans la préparation de très nombreux produits alimentaires. [16]

IV. Les caractéristiques nutritives du maïs :

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),
- des vitamines. [17]

IV. Le maïs et l'industrie :

Il existe trois grandes industries de première transformation du maïs permettant l'utilisation de ses dérivés dans de très nombreux secteurs industriels :

- L'AMIDONNERIE
- LA SEMOULERIE
- LA DISTILLERIE
- L'HUILERIE
- LES INDUSTRIES DE LA RAFLE

Chapitres III

Amidonnerie

I. objectif du travail :

Dans le cadre de notre actuel parcours universitaire en master de l'amélioration de la production végétale et notre ex parcours d'ingénieur en technologies d'industrie alimentaire on a vu qu'on fera mieux de réalisé un travaille de fin d'études qui combine entre la production agricole et l'industrie agroalimentaire.

Dans ce travail on va voir une méthode et une technologie industriel exercer sur une matière première purement agricole qui est le Maïs qui va se transformé en un produit principale qui est l'amidon et en d'autres sous produit a différents usages tout en permettant d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques acquises durant tout notre cursus universitaire en p.a.v et en t.i.i.a.

II. Site d'étude :

L'Amidonnerie de Maghnia, située dans la zone industrielle de Maghnia à l'extrême ouest du pays, est considérée comme étant l'unique complexe de transformation du Maïs en Algérie.

En effet, son activité principale est la transformation, par voie humide, du maïs; ce, pour la production des éléments suivants : amidon est le produit principal, sirop de Glucose, dextrines et sous-produits.

Implanté sur plus de 10 hectares, l'Amidonnerie de Maghnia emploie aujourd'hui près de 200 travailleurs encadrés par un staff technique hautement qualifié et spécialisé.

Les produits fabriqués par l'Amidonnerie répondent à une demande croissante des industries utilisatrices et sont disponibles à travers tout le territoire national grâce au circuit de distribution mis en place. Si le potentiel de production consiste en une capacité de transformation de 200 tonnes de maïs/jour en ses principaux dérivés (amidon, sirop de glucose

et dextrines), le potentiel de stockage de l'amidonnerie est lui assuré par des silos d'une capacité de 12.000 tonnes ainsi que par des aires de stockage de produits finis de 5.000 tonnes.

II. Matériel végétal :

Dans cet amidonnerie l'unique matière première végétale est le maïs et plus exactement la variété du *Zea mays ceratina*, ou le maïs cireux a cause de sa forte teneur en amylopectine il est importé le plus souvent du Canada et des États-Unis d'Amérique.

II.3. Matériels et équipements mécaniques et physiques :

- Les silos de stockage
- Bac en inox de trempage
- Échangeur de vapeur et de chaleur
- Back de stockage
- évaporateur sous vide
- broyeur
- dégermeur
- centrifugeuse
- séchoir
- torréfacteurs

II.4. Matériel chimique :

- Eau de processus : c'est l'eau utilisée par l'amidonnerie directement pour la transformation du maïs et qui tourne dans un circuit fermé serve pour le lavage et comme conducteur de produits et de matières d'une station et d'une étape de transformation à une autre.
- Eau soufré de 24 % : 24 g de soufre (SO₂) dans 100 l d'eau
- d'acide chlorhydrique 10 % : 10 g de HCL dans 100l d'eau
- d'acide chlorhydrique 5 % : 5g de HCL dans 100l d'eau
- carbonate de soude : Na₂CO₃

III. La Transformation du maïs par voie humide:

Appelé aussi la mouture humide du maïs c'est une technique industriel de transformation de maïs pour fournir l'amidon et autres sous-produits de valeur, tels que le gluten de maïs et les farines et aliments pour animaux. L'amidon sert de matière première à une large gamme de produits alimentaires et non alimentaires. Pour l'essentiel, ce procédé utilise du maïs nettoyé qui est macéré dans l'eau dans des conditions soigneusement déterminons. [18]

III .1. Processus de fabrication :

Le processus de fabrication comporte plusieurs phases, toutes extrêmement bien codifiées :

III. 1.1. Réception et nettoyage :

En effet, une fois le maïs réceptionné et nettoyé pour en enlever tous les corps étrangers, il sera stocké dans l'un des douze silos prévus à cet effet.



Figure 12 : réception de maïs importé [19]

III. 1.2. Trempage :

Le maïs est ensuite trempé dans une solution d'eau soufrée de 24% à 50°C et ce, pendant une durée qui varie entre 48 et 60 heures. Ce trempage se fait dans des bacs en inox, le chauffage de la solution se faisant au moyen d'un échangeur de vapeur.



Figure 13 : Bac en inox de trempage [19]

Le but du trempage du maïs dans l'eau soufre et d'une part de ramollir l'endosperme du grain et d'autre part de répartir ses différentes parties en plusieurs catégories. Ce procédé permet simultanément de casser les molécules de protéines qui protègent l'amidon et le gluten.

A la fin de cette opération, l'hygrométrie des grains est passé de 15% à 40% et le volume de ceux-ci a doublé et l'eau soufrée utilisée pour le trempage est récupérée. Elle sera concentrée à l'aide d'un évaporateur sous vide pour donner de la liqueur de trempage. Il s'agit d'un produit utilisé dans l'industrie de fermentation pour la fabrication des antibiotiques.

III. 1.3. Broyage et dégermage :

Le maïs trempé sera acheminé par une solution vers les broyeurs où il sera grossièrement broyé pour détacher le germe de l'endosperme. Il passera ensuite dans des dégermeurs primaires pour séparer les germes de ce qui reste des grains de maïs.

III. 1.4. Lavage et séchage :

Les germes étant plus légers, ils flottent à la surface et seront évacués par des palettes tournantes vers une station où ils seront lavés, déshydratés et séchés pour servir à la préparation de l'aliment de bétail; pour ce faire, ils seront mélangés aux pelures et semoules de maïs.

III.1.5 centrifugation, raffinage et séchage :

Le lait d'amidon lui est séparé du lait du gluten au moyen de centrifugeuses. Le premier produit sera concentré et raffiné et le second seulement concentré. Ces produits seront ensuite envoyés vers des bacs de stockage avant d'être déshydratés puis séchés.

III. 1.6 L'hydrolyse et concentration :

Le lait d'amidon stocké est transféré dans le bac d'acidification où a lieu l'addition d'acide chlorhydrique à 10%. L'augmentation de l'acidité et de la température provoque l'hydrolyse de l'amidon et permet d'obtenir un produit (hydrolysât) constitué de sucres. Ce dernier va subir une neutralisation à l'aide du carbonate de soude suivi d'une séparation, d'une filtration et d'une concentration à l'aide d'évaporateurs sous vide. Ainsi est obtenu le sirop de glucose qui sera par la suite stocké.

III.1.7 séchage et tamisage :

Le lait d'amidon est une autre fois séché est mélangé à de l'acide chlorhydrique à 5 %. L'amidon acidifié est de nouveau séché puis torréfié dans des torréfacteurs chauffés avec de l'huile thermique qui circule dans une double enveloppe a la fin de cette étape on obtient l'amidon natif. Et en fonction du temps de torréfaction, on obtient l'amidon natif de la dextrine blanche ou jaune. La dextrine obtenue sera refroidie puis humectée et enfin tamisée.

III .2.Diagramme de transformation de maïs :

III. 3. Contrôle de qualité et Analyses physicochimique :

L'Amidonnerie de Maghnia, très attentive à tout ce qui touche à la satisfaction de ses clients, effectue des contrôles qualitatifs tout au long des étapes de production, depuis la réception des matières premières (maïs) jusqu'à la livraison des produits finis.

Consciente de l'importance que revêtent ses produits, lesquels entrent dans la composition d'un nombre très important de produits alimentaires, l'Amidonnerie de Maghnia a adopté une politique de qualité rigoureuse, ce qui a conforté sa position de leader dans le domaine de la transformation du maïs en Algérie.

Cette politique repose essentiellement sur une série de contrôles selon les normes en vigueur pour évaluer la conformité des produits, ainsi que le développement permanent du savoir-faire du staff technique en fonction des technologies actuellement utilisées.

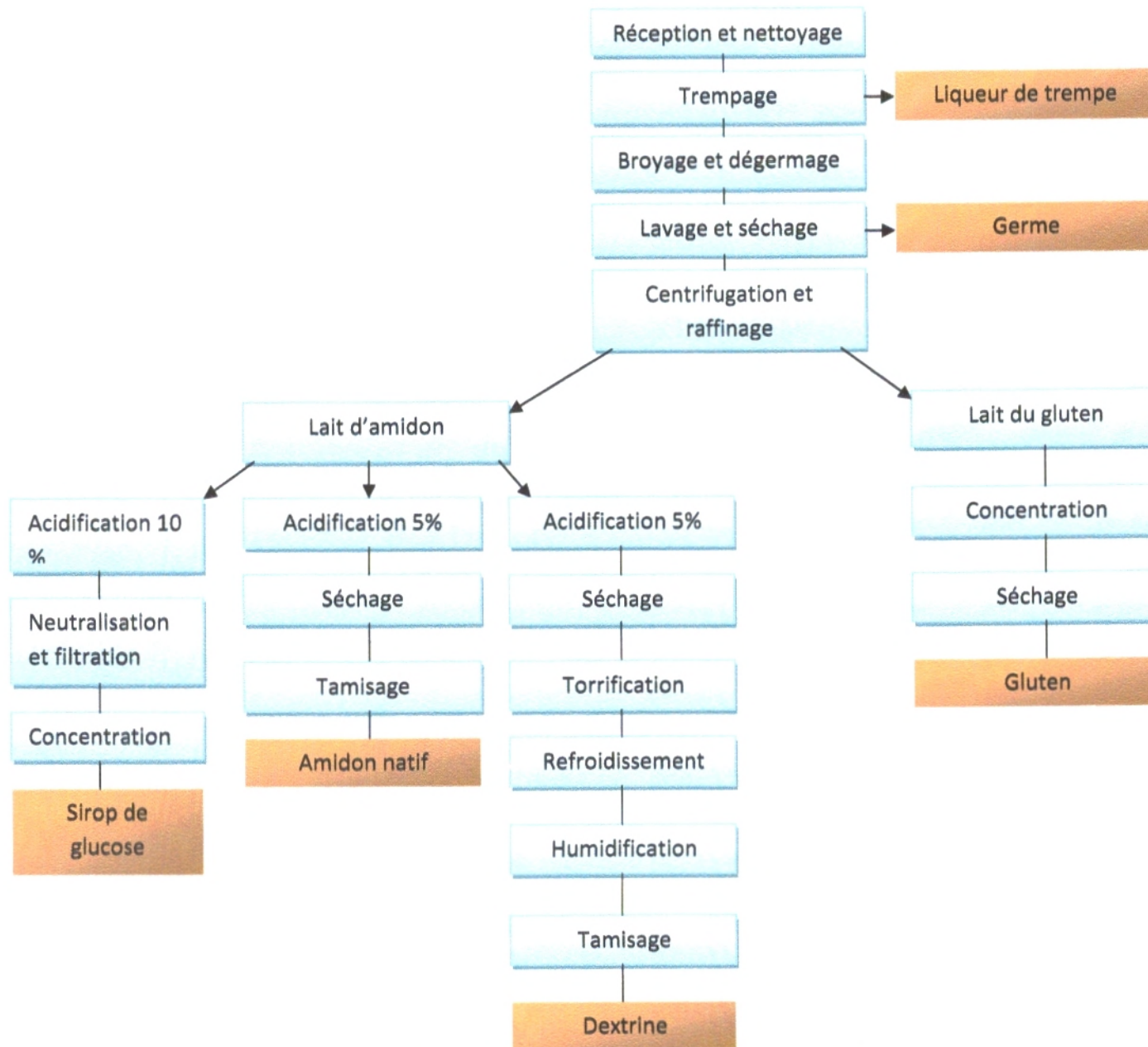


Diagramme de transformation de maïs

L'Amidonnerie de Maghnia s'est engagée dans le processus de la mise en place du Système de Management de la Qualité, dans la perspective de la certification ISO-9001/2000.

Et pour cela elle est équipée d'un laboratoire d'analyse physico-chimique de haut qualité qui permet l'analyse des échantillons prises de tout au long de la chaîne de la production pour assurer la conformité des produits et de mise en vente des produits sûrs qui répondent aux normes.

- L'analyse effectuée sur les échantillons dans ce laboratoire :

- ✓ Mesure de taux d'humidité
- ✓ Mesure du pH
- ✓ Mesure du taux des protéines
- ✓ Mesure de taux de la matière grasse
- ✓ Mesure de taux des cendres

Chapitre IV

Les produits issues la transformation du maïs

Les résultats à l'issue de cette opération industrielle de transformation sont des produits finis principal et sous produits.

I. Produits principales :

I.1. L'Amidon :

L'amidon de maïs est un hydrate de carbone que les plantes synthétisent par polymérisation du glucose. Il contient environ 27% d'amylose et 73% d'amylopectine.

Les granules d'amidon sont insolubles dans l'eau mais peuvent y être maintenus en suspension par agitation mécanique. Par augmentation de la température ou alcalinisation du milieu, ces granules absorbent l'eau, gonflent et forment un empois. Lorsque la concentration est suffisamment élevée, ce dernier s'épaissit après refroidissement et forme un gel irréversible.

I.1.1 Caractéristiques physico-chimiques

- Aspect : Poudre blanche
- Goût et odeur : Neutre
- Humidité : 10 à 13 %
- Protéines brutes : 1% au maximum
- Protéines solubles : 0,1 % au maximum
- Matières grasses : 0,3 % au maximum
- SO₂ : 50 ppm au maximum
- pH : 4,5 à 6,0

I.1.2 Applications

- Industries alimentaires (Confiseries, Biscuits, Pâtes alimentaires, Produits laitiers)
- Industries textiles, papeteries
- Industries chimiques et pharmaceutiques
- Industries cosmétiques
- Industries du pétrole (forages).
- Ce produit est livré en sac kraft de 25 et 50 kg net ,en fait, à partir de l'amidon natif extrait des céréales ou des tubercules, pas moins de 600 produits différents ont été mis au point pour répondre aux besoins spécifiques des industries utilisatrices.



Figure 14 : amidon [19]

I.2. Le Sirop de Glucose :

Le sirop de glucose est une solution aqueuse de sucres nutritifs dérivés de l'amidon. Il est obtenu par hydrolyse acide de l'amidon et confère une plasticité qui améliore la structure et la texture des divers produits de la confiserie. Son pouvoir sucrant étant moyen, le choix d'une combinaison adéquate avec le saccharose permet d'obtenir l'intensité sucrée désirée.

Le sirop de glucose se différencie essentiellement par son D.E. (Dextrose Équivalent) qui caractérise le degré de conversion de l'amidon en sucres : plus l'hydrolyse est poussée, plus la teneur en mono et disaccharides augmente et plus le D.E. est élevé.

I.2.1 Caractéristiques physico-chimiques

- Aspect : liquide, limpide
- Couleur : jaunâtre
- Goût : doux
- Odeur : neutre
- Humidité : 17 à 20%
- Baumé : 44 ± 1
- D.E. : 40 à 50%
- Cendres : 0,1 à 0,5%
- pH : 4,5 à 6,0
- SO_2 : 20 ppm

I.2.2 Applications :

- Confiserie
 - Pâtisserie industrielle
 - Sirops et nappages
 - Glaces de consommation
 - Boissons et liqueurs
 - Préparations à base de fruits
 - Industries pharmaceutiques
- Le sirop de glucose est livré en citerne (vrac) ou en fûts métalliques d'un poids net de 300 kg.



Figure 15 : sirop de glucose [20]

I.3. Les Dextrines :

Les dextrines sont obtenues par la transformation de l'amidon sous forme granulaire au moyen d'une torréfaction à sec en présence d'acide chlorhydrique à faible concentration. L'opération de dextrinisation entraîne l'apparition d'un pouvoir réducteur et d'une solubilité partielle dans l'eau froide.

En faisant varier l'acidification, la température et le temps de torréfaction, une grande variété de dextrines blanches et jaunes peut être obtenue. La dextrine blanche est caractérisée par sa solubilité dans l'eau froide, alors qu'au contraire la dextrine jaune est caractérisée par sa viscosité.

I.3.1 Caractéristiques physico-chimiques :

- **Dextrine blanche**
 - Aspect : poudre blanche
 - Humidité : 10 à 12%
 - pH : 3,0 à 4,0
 - Solubilité : 5 à 75%
- **Dextrine jaune**
 - Aspect : poudre jaunâtre
 - Humidité : 10 à 11%
 - pH : 2,5
 - Viscosité : 80 à 175 Cp

I.3.2 Applications

- Fabrication de colles et rubans adhésifs
- Fabrication de carton ondulé et pâtes à papier
- Fabrication des enduits, peintures et encres
- Forage pétrolier
- Les dextrines sont livrées en sac polypropylène de 50 kg.

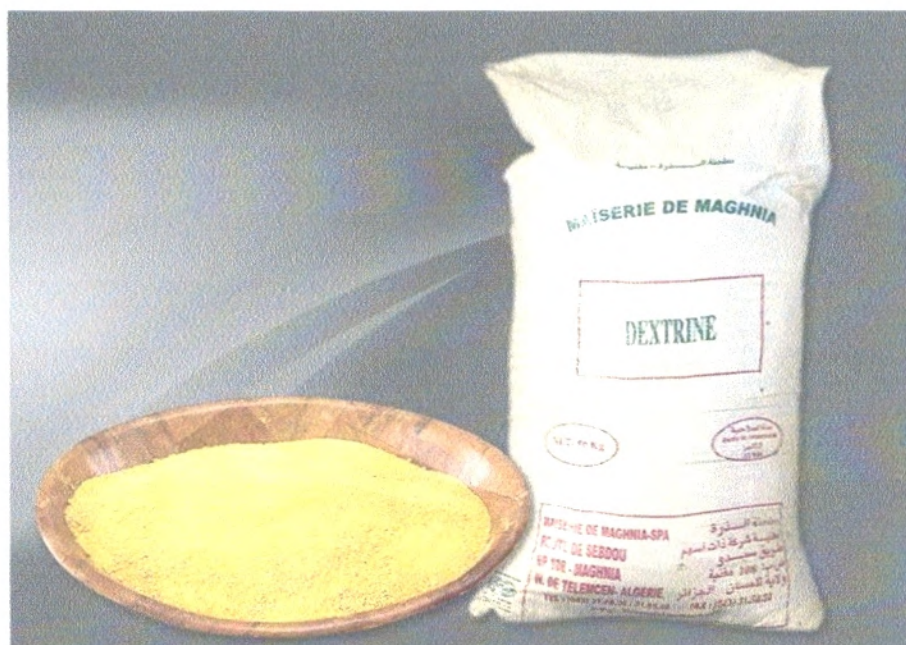


Figure 16 : dextrine [19]

I.4. Gluten de maïs :

Produit obtenu en fin de cycle d'extraction de l'amidon des grains de maïs. Il est constitué essentiellement par le réseau protéique reliant les granules d'amidon.

I.4.1 Caractéristiques physico-chimiques :

- Aspect : poudre jaunâtre
- Humidité : 10 à 13%
- Protéines brutes : 35 à 55%
- Matières grasses : 3 à 5%
- Matières minérales : 1 à 2%

I.4.2 Applications

- Ingrédient dans les pâtes alimentaires et les condiments
- Additif protéique en alimentation animale



Figure 17 : gluten [19]

I.5. Les sous-produits :

I.5.1. Germes de maïs :

Constituant du grain de maïs, riche en lipides (huile de maïs), extrait après un premier broyage grossier et séparé par un dégermeur.

I.5.2. Coques de maïs (ou pelures) :

Enveloppes et membranes du grain de maïs, obtenues après diverses séparations par centrifugation .

I.6. Liqueur de trempage (ou Corn steep) :

Constituée de l'eau qui a servi au trempage du maïs, elle est composée des matières solubles du grain de maïs (matières minérales, vitamines hydrosolubles, acides aminés). De par sa composition très riche en éléments nutritifs, ce produit est utilisé dans les milieux de culture pour la fabrication des antibiotiques.

II- Origine de la richesse du maïs en amidon

II.1 Amidon est le produit majeur issu de la transformation de maïs :

Comme on la dit précédemment Le maïs est constitué d'amidon à près de 71% de son poids sec. De façon empirique, d'un boisseau de maïs pesant 25 kg, on peut extraire 15 kg d'amidon et Théoriquement, la transformation de 1 kg d'amidon devrait donner 1.1 kg de glucose ou 0.57 kg d'éthanol, mais l'efficacité de conversion réelle reconnue est plutôt de 90-95% dans les deux cas [21]

L'amidon contient les deux types de polymères dont il a été fait mention précédemment, soit l'amylose à 27% et l'amylopectine à 73%, mais la question qui se pose dans ce contexte c'est comment tous ces composés amylicés peuvent être synthétisés dans une graine de maïs et comment cette plante de maïs peut fournir toute cette biomasse importante en amidon. Et pour cela on a fait des recherches en essayant de répondre à cette question dans cette partie de discussion.

II.2 la photosynthèse :

Les plantes sont des organismes autotrophes et dont le maïs fait parti. Elles sont capables, au cours de la réaction de photosynthèse, d'utiliser l'énergie du rayonnement solaire grâce à des pigments assimilateurs pour assimiler le dioxyde de carbone atmosphérique. Celui-ci sera ensuite incorporé dans des molécules organiques nécessaires à la croissance des végétaux (sucres, lipides, acides aminés...).

La photosynthèse est un mécanisme composé de deux phases se passant à des moments distincts. La première phase (phase lumineuse ou photochimique)

est caractérisée par le déroulement d'une activité photochimique, qui correspond à un déclenchement de transfert d'électrons suite à la capture de l'énergie électromagnétique des photons lumineux. Ces transferts d'électrons conduisent à la synthèse d'un composé réducteur riche en énergie, l'ATP. La seconde phase (phase métabolique ou phase de fixation du carbone) est celle au cours de laquelle l'utilisation de cette énergie chimique permet la fixation du CO₂ et d'assurer le déroulement des voies de biosynthèse des molécules carbonées.

La photosynthèse permet l'obtention de trioses phosphates, synthétisés au sein des chloroplastes, qui seront convertis en hexoses phosphates. Ces derniers pourront être utilisés dans différentes voies métaboliques telles que la glycolyse et le cycle de Krebs. Ils pourront également permettre la synthèse de saccharose ou de sucres de réserve. Ils serviront alors de source d'énergie ou de carbone pour la croissance de la plante. Dans l'idéal, les plantes doivent atteindre un équilibre entre l'assimilation du carbone, son stockage et leur croissance. Cependant peu de choses sont connues sur ces régulations. [22]

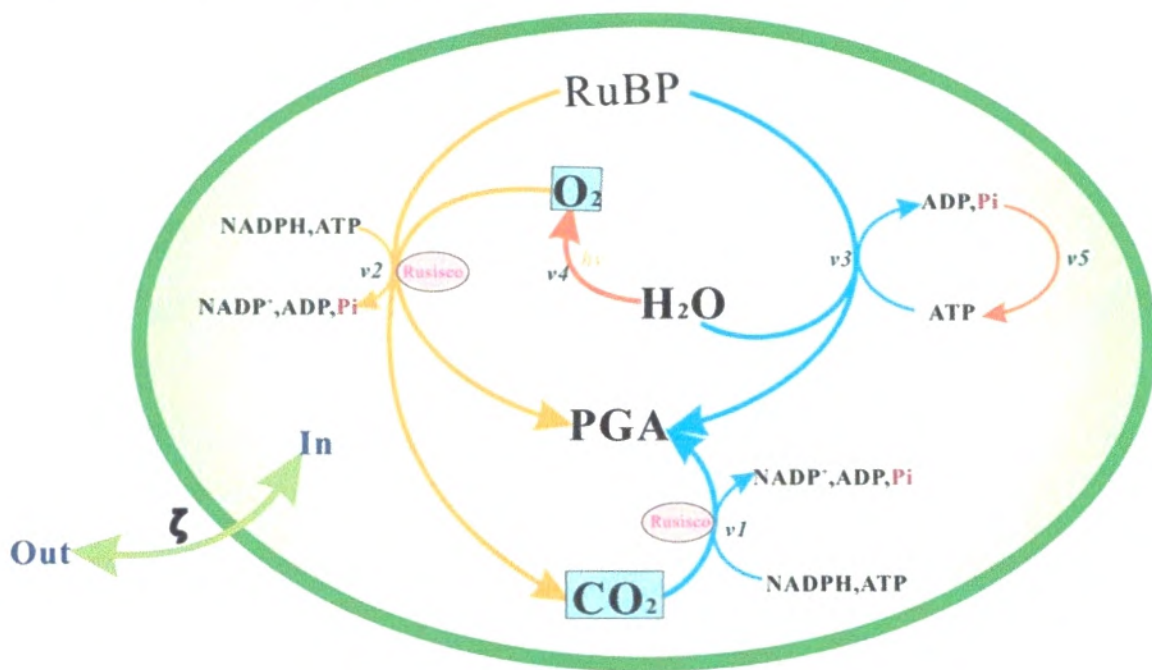


Figure 18 : métabolismes photosynthétiques dans un chloroplaste [23]

II-2-1 Différents types de photosynthèse :

Plusieurs mécanismes de fixation et d'assimilation photosynthétique existent chez les plantes : la photosynthèse C3 (majoritaire chez les espèces de plantes de zones tempérées), la photosynthèse C4 et CAM (majoritairement dans les zones sub-tropicales et désertiques).

La plante sur la quelle a porté notre travail (le maïs), présentent une photosynthèse particulière caractérisée par une incorporation du carbone dans des acides organiques à quatre carbones. Ce type de photosynthèse est ainsi dite en C4.

La photosynthèse C4, elle, implique deux carboxylases fonctionnant en série, la PEP carboxylase (phosphoénolpyruvate carboxylase) et la rubisco. La PEP carboxylase est localisée dans les cellules mésophylliennes, elle incorpore le CO₂ atmosphérique à une molécule d'oxaloacétate. La rubisco est elle localisée dans les cellules de la gaine périvasculaire, elle permet l'assimilation secondaire du CO₂ par le cycle de Calvin. Cytoplasmique [24]

II-2-2 Métabolisme photosynthétique de maïs :

Il existe trois groupes de plantes C4 selon la nature des mécanismes de décarboxylation des acides C4 mis en jeu dans la gaine périvasculaire :

- ✓ Les plantes C4 à enzyme malique NADP dépendante chloroplastique (figure 5)
- ✓ Les plantes en C4 à enzyme malique NAD-dépendante mitochondriale
- ✓ Les plantes en C4 à PEP carboxykinase.

Le maïs appartient au premier groupe comme *le sorgho, miscanthus et la canne à sucre* [25]

Dans ce groupe, le CO₂ est incorporé en une molécule en C4 instable, l'oxaloacétate (AOA) grâce à la PEP carboxylase. Cette réaction se déroule dans le cytosol des cellules mésophylliennes. Une grande partie de l'AOA entre ensuite dans le chloroplaste pour y être réduite en malate par une malate déshydrogénase à NADP⁺ utilisant l'activité réductrice des chloroplastes. Le reste d'AOA se retrouve aminée en aspartate par une aminotransférase cytoplasmique [24]

Le malate et l'aspartate diffusent ensuite jusqu'aux cellules de la gaine périvasculaire. Dans les chloroplastes de ces cellules, le malate est décarboxylé

par une enzyme malique NADP⁺ dépendante libérant du CO₂, du pyruvate et du NADPH. Le malate est donc le fournisseur de CO₂ et de NADPH nécessaires au fonctionnement du cycle de Calvin. Le pyruvate va lui diffuser en sens inverse, il sera métabolisé pour régénérer le PEP, le premier accepteur de CO₂ en présence de Pi et d'ATP.

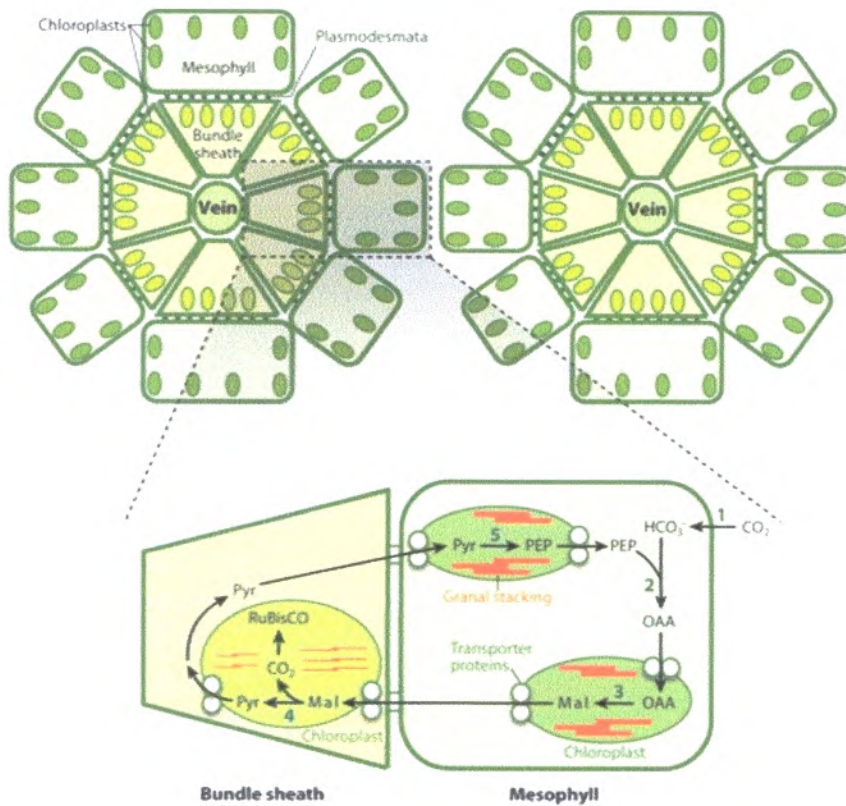


Figure 19 : métabolisme photosynthétique C4 à enzyme malique NADP dépendante chloroplastique [26]

II-2-3 Avantages du métabolisme des plantes C4 à enzyme malique NADP dépendante chloroplastique :

Le bilan énergétique global de la fixation d'une molécule de CO₂ par le métabolisme photosynthétique C4 est supérieur à celui du métabolisme C3. En effet, pour le métabolisme C3, le cycle de Calvin ne nécessite que l'utilisation de 2 NADPH et 3 ATP. Pour le métabolisme C4, il y a consommation de 2 ATP supplémentaires pour la régénération du PEP à partir du pyruvate. Cependant, le métabolisme photosynthétique en C4 est considéré comme ayant la plus grande efficacité théorique et le plus grand potentiel de productivité parmi toutes les formes de photosynthèses des plantes supérieures.

La rubisco, en plus de posséder une activité carboxylase lui permettant de fixer le CO₂ atmosphérique, possède une activité oxygénase. Ceci permettra à la rubisco, en cas de forte concentration en O₂, l'incorporation d'O₂ sur le RuBP. Ce processus concurrent de la photosynthèse est appelé photorespiration. Chez les plantes en C₄, ce mécanisme est en grande partie éliminée [27]

En effet, comme nous l'avons vu précédemment il y a séparation spatiale de la fixation du CO₂ atmosphérique et de la fixation du CO₂ par la rubisco, cette organisation particulière est appelée anatomie de Kranz. Chez les plantes en C₄, la rubisco se trouve dans les cellules de la gaine périvasculaire. Ces cellules sont entourées par du mésophylle et sont quasiment imperméables aux gaz. La rubisco se trouve donc isolé de l'O₂ atmosphérique et le CO₂ libéré par la première étape de la photosynthèse s'accumule transitoirement dans les cellules de la gaine. Ce système permet donc à la rubisco d'agir quasi exclusivement comme carboxylase et de limiter le phénomène de photorespiration. Cette capacité à limiter la photorespiration rend ces plantes plus performantes que les autres dans des environnements secs et chauds, où les stomates sont fermés et les niveaux internes de CO₂ sont faibles. Du fait de cette organisation, moins de rubisco est nécessaire chez les plantes en C₄ que chez les plantes en C₃.

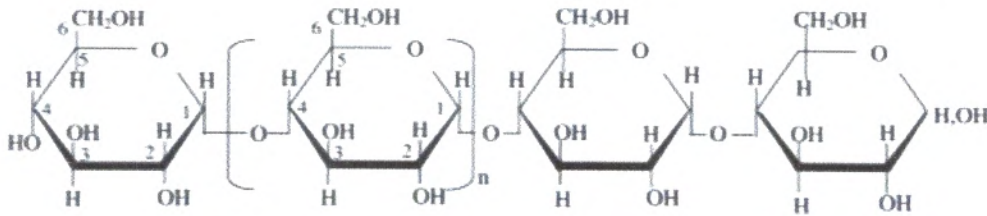
Les plantes à métabolisme C₄ sont normalement présentes et majoritaires dans des environnements chauds, humides avec de fortes intensités lumineuses. Néanmoins, ce type de photosynthèse rend ces plantes moins performantes à basses températures, ce qui limite leur croissance. [28]

II-2-4 Synthèse des glucides et de l'amidon dans les feuilles en C₄ :

Lorsque 3 molécules de CO₂ sont fixées sur 3 molécules de RuBP, une molécule de triose phosphate sur 6 est utilisée pour la synthèse de produits terminaux de la photosynthèse. Dans les feuilles des plantes C₄, le fonctionnement en série des cycles C₄ et C₃ aboutit à une synthèse de saccharose dans les cellules du mésophylle ainsi que d'amidon dans les chloroplastes des cellules de la gaine périvasculaire. Ce sucre s'accumule ensuite dans ces cellules [29]

L'amidon est un glucide insoluble ayant une structure complexe, semi-cristalline à amorphe composée de deux polymères de glucose, l'amylopectine (figure 20-B) et l'amylose (figure 20-A)

-A



-B

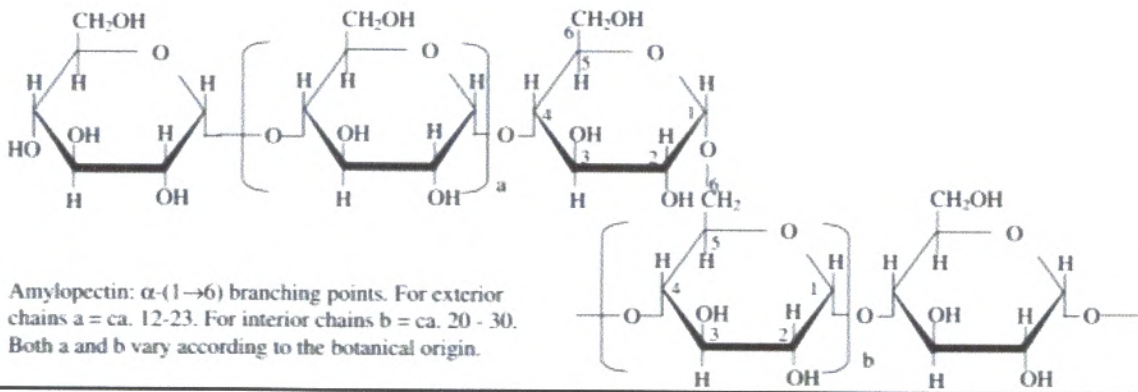


Figure 20. Structure de l'amidon A : Structure de l'amylose / B : Structure de l'amylopectine [30]

Chez les plantes supérieures, l'amidon est synthétisé dans les plastes de cellules à la fois photosynthétiques et non photosynthétiques. L'amidon joue un rôle important pendant le cycle de vie de la plante.

Dans les feuilles des plantes de type C4, le principal site de synthèse de l'amidon se trouve être les chloroplastes des cellules de la gaine périvasculaire. Cette localisation permet de mieux coordonner le taux de synthèse de l'amidon avec le taux de [31]

La fraction de carbone assimilée par la photosynthèse est conservée dans les chloroplastes sous forme d'amidon plutôt que d'être convertie en saccharose qui sera ensuite exporté vers les sites de croissance. Cet amidon s'accumule sous forme de grains, structures formées de couches concentriques (figure 9), et

localisés dans le stroma plastidial. Ils sont constitués de 20 à 30% d'amylose et de 70 à 80% d'amylopectine. La taille des grains d'amidon est maximale en fin de journée. Une partie de cet amidon est ensuite dégradé durant la nuit pour fournir des substrats pour la respiration des feuilles et pour poursuivre la synthèse de saccharose, permettant l'exportation de glucides vers le reste de la plante [32]

II-2-5 Synthèse de l'amidon de réserve :

Nous avons vu précédemment que la synthèse d'amidon avait lieu dans les chloroplastes des feuilles et que la nuit une dégradation de cet amidon est observée. Les deux principaux produits de dégradation de l'amidon sont le maltose et le glucose. Ceux-ci pourront alors générer du saccharose. Dans les organes non photosynthétiques (tels que les racines, les rhizomes, les tubercules, les tiges ou les graines), le saccharose provenant de la photosynthèse ou de la dégradation de l'amidon des chloroplastes foliaires est amené via le phloème. Il pourra être ensuite converti en amidon pour un stockage à long terme, dans les plastes spécialisés appelés amyloplast. C'est la forme de stockage majoritaire de ce sucre dans ce type d'organe [33]

L'amidon de stockage pourra être remobilisé pour soutenir les phases de croissance ou pour satisfaire la demande locale élevée en carbone pour des processus spécifiques. La source de carbone issue de l'amidon peut être vitale pour la croissance normale des plantes. En effet, des plantes mutantes d'*Arabidopsis* incapables de synthétiser de l'amidon présentent une croissance réduite et des carences en carbone. Chez le maïs et le pois un avortement des graines est observé en réponse à un épisode soudain de sécheresse ou de stress thermique. Les auteurs estiment ces avortements sont une conséquence d'une carence en carbone provenant de ces stress plutôt que de l'effet direct de ces contraintes sur la croissance des semences. [33]

Conclusion

Conclusion

Conclusion :

Au terme de notre travail, il importe de constater que le processus de la transformation industrielle du maïs par la voie humide a pour intérêt principale l'extraction de l'amidon natif maïs aussi l'obtention de toute une gamme de produits et sous produits à différents usages.

L'utilisation de l'amidon aujourd'hui a une ampleur considérable du fait des nombreux produits qu'il peut présenter. Avec l'évolution de la recherche, l'amidon, outre sa vocation première qui n'est destinée qu'à l'alimentation, peut être employé à des fins non alimentaires dans différents domaines.

Et en fin on ne peut pas parler de l'importance de l'amidon sans rendre compte de l'importance du maïs cette plante mythique qui est considérée parmi les plantes rares à plein d'intérêts pour l'homme et c'est pour quoi Le maïs, avec le blé tendre et le riz est l'une des trois plantes les plus cultivées dans le monde. Cultivé sur tous les continents, il possède une grande aptitude à produire de la matière sèche. Récolté en grain ou en fourrage, il est à l'origine d'une véritable révolution agricole par l'importance de sa part dans l'alimentation humaine et animale, des surfaces cultivées dans le monde, de la diversité de ses utilisations, de sa valeur et de ses échanges économiques.

Référence Bibliographique

Références bibliographiques

- [1] N. Alexandratos dir., 1995, *Agriculture mondiale : horizon 2010*, F.A.O., Rome.
- [2] DUPIN Henri, CUP Jean-Louis, MALEWIAK Marie-Irène et al. Amdon. Alimentation et nutrition humaine. PARIS : ESF éditeur 1992, p.127-135
- [3] (Maybelline Escalante-Ten Hoopen et Abdou Maïga ,(2012) , production et transformation du maïs , La collection Pro-Agro ,page 04).
- [7] (Maybelline Escalante-Ten Hoopen et Abdou Maïga, (2012) , production et transformation du maïs , La collection Pro-Agro page 05;06; 07)
- [10] (Picard, D. 1991. *Physiologie et production du maïs*. Paris, Éditions Quae, pp. 15-78.)
- [11] (Maybelline Escalante-Ten Hoopen et Abdou Maïga ,(2012) , production et transformation du maïs , La collection Pro-Agro ,page 09-15)
- [12] (*Maïs, mythe et réalité*, JP Gay, 1999, éd. Atlantica, page 21) ensileuse
- [15] (Rapport 2006 du Service international pour l'acquisition des applications agrobiotech)
- [17] (Le maïs dans la nutrition humaine. » - Food & Agriculture Org., 1993 - 174 pages)
- [21] (Whistler, R. L., Bemiller, J. N., Paschall, E.F., (1984) "Starch Chemistry and Technology", Academic Press Inc, p.391.)
- [22] Smith A.M., Stitt M. (2007) Coordination of carbon supply and plant growth. *Plant Cell Environment* 30: 1126-1149.
- [23] (Luo R., Wei H., Ye L., Wang K., Chen F., Luo L., Liu L., Li Y., Crabbe M.J., Jin L., Li Y., Zhong Y. (2009) Photosynthetic metabolism of C3 plants shows highly cooperative regulation under changing environments: a systems biological analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 847-852.)
- [24] (Farineau J., Morot-Gaudry J.F. (2011) *La photosynthèse: Processus physiques, moléculaires et physiologiques*. Edition INRA. 412p.)
- [25] (Drincovich M.F., Casati P., Andreo C.S. (2001) NADP-malic enzyme from plants: a ubiquitous enzyme involved in different metabolic pathways. *FEBS Letters* 490: 1-6.)

- [26] (Hibberd J.M., Covshoff S. (2010) The Regulation of Gene Expression Required for C4 Photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology* 61: 181-207.)
- [27] (Sage R.F., Wedin D.A., Li M. (1999) The biogeography of C4 photosynthesis: patterns and controlling factors. In: *C4 Plant Biology* (eds R.F.Sage and R.K.Monson), Academic Press, San Diego, USA. pp 313-373.)
- [28] (Long S.P. (1999) Environmental responses. In: Sage R.F. and Monson R.K. (eds.) *C4 Plant Biology*. Academic. Press, San Diego, USA, pp 215-249.)
- [29] (Heldt H.W. (1997) *Plant biochemistry and molecular biology*. Oxford university press. 522p.)
- [30] (Tester R.F., Karkalas J., Qi X. (2004) Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39: 151-165.)
- [31] (Lunn J.E., Furbank R.T. (1997) Localisation of sucrose-phosphate synthase and starch in leaves of C4 plants. *Planta* 202: 106-111.)
- [32] (Zeeman S.C., Kossmann J., Smith A.M. (2010) Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. *Annual Review of Plant Biology* 61: 209-234.)
- [33] (Zeeman S.C., Kossmann J., Smith A.M. (2010) Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. *Annual Review of Plant Biology* 61: 209-234.)

Les sitographies

- [4](plantes-et-jardins.com)
- [5](<http://fr.horticalia.org/Wiki/Ma%C3%AFs>)
- [6](wikipedia.org/wiki/Ma%C3%AFs#mediaviewer/Fichier:VegCorn.jpg)
- [8](<http://www.gnis-pedagogie.org/photos/mais---constitution-du-grain.jpg>)
- [9](<http://www.gnis-pedagogie.org/mais-plante-physiologie-reproduction.html>)
- [13](<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%AFs#mediaviewer/Fichier:Feldhaecksler-Mais.jpg>)
- [16](<http://www.gnis-pedagogie.org/mais-intro-marche-donnee-economique.html>)
- [18](<http://www.fao.org/docrep/t0395f/T0395F05.HTM#Technologie>)
- [19](<http://www.groupe-metidji.com>)
- [20](<http://plusoumoins62.fr/?tag=recette-sirop-de-glucose>)

Résumé :

L'amidon est le glucide alimentaire le plus important chez l'être humain et devrait représenter la plus grande part quantitative de l'apport glucidique et énergétique quotidien. Il est la base d'une alimentation saine. L'amidon nous fournit l'énergie nécessaire régulièrement tout au long de la journée. Mais l'utilisation de l'amidon ne s'arrête pas juste ici et pour cela la fréquence de la demande sur les amidons et leurs dérivées a augmenté de façon considérable au cours des dernières années en raison de l'usage extensif de ces derniers dans l'alimentation humaine et animale mais aussi en pharmacie et cosmétologie, en papeterie et dans certaines applications industrielles.

A cet effet et dans le cadre de la valorisation des plantes riches en amidon on s'est intéressé à une plante de la famille des poacées qui est l'une des familles les plus cultivées au monde utilisée comme source principale de nourriture.

La plante sur laquelle a porté notre choix est le maïs du nom scientifique (*Zea mays*) puisque elle est très riche en amidon. Le premier objectif de ce travail est de mettre en évidence la transformation de maïs en produits principaux qui est l'amidon et en d'autres produits dérivés à divers intérêts, le second objectif c'est la compréhension de la manière dont cette plante est capable de synthétiser les composés amylicés et comment elle peut fournir des biomasses importantes des amidons.

La mise en évidence de la transformation de maïs dans ce travail a été étudiée dans une amidonnerie de transformation de maïs par la voie humide et grâce à cette méthode on obtiendra un produit majeur (amidon) et toute une gamme de produits et sous-produits importants et demandés dans plusieurs industries.

Mots clés :

Maïs, amidon, transformation, voie humide, Métabolisme photosynthétique, plantes C4.