



COLLECTION
PRO-AGRO

Production et transformation du

maïs

Maybelline Escalante-Ten Hoopen & Abdou Maïga

Intervenants

DIRECTION

E. Lionelle Ngo-Samnick

TEXTE

Maybelline Escalante-Ten Hoopen et Abdou Maïga

RELECTURE

Christine Savoie, Amandine Hourt, Elisabeth Basemeg,
Pascal Nondjock et Rodger Obubo

ILLUSTRATIONS

Romarie Bougin, Béatriz Garcia, Jin Ah Pok et
Eric Mengaptche

MISE EN PAGE

Stéphanie Leroy

La collection Pro-Agro est une coédition d'Ingénieurs Sans Frontières Cameroun (ISF Cameroun) et du Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA).
CTA – P.O. Box 380 – 6700 AJ Wageningen – Pays-Bas – www.cta.int
ISF Cameroun – BP 7105 - Douala-Bassa - Cameroun – www.isf-cameroun.org
© CTA et ISF 2012
Couverture : © Željko Radojko/Fotolia, Sommaire : © atoss/Fotolia
ISBN du CTA : 978-92-9081-494-8

Sommaire



1 Plante de maïs

1.1	Anatomie du maïs	5
1.2	Physiologie, développement et résistance naturelle	8

2 Production du maïs

2.1	Mise en place	9
2.2	Entretien	14
2.3	Protection	16
2.4	Récoltes et activités post-récoltes	19

3 Transformation du maïs en farine

3.1	Choix du matériel pour la fabrication de la farine de maïs	22
3.2	Estimation du volume de maïs nécessaire	22
3.3	Types de farine de maïs	22
3.4	Processus de fabrication de la farine de maïs	23

4 Commercialisation du maïs

4.1	Vente de maïs frais	25
4.2	Vente de la farine de maïs	26

5 Quelques utilisations culinaires de la farine de maïs

5.1	Bouillie de maïs	27
5.2	Pain de maïs	27

6 Autres informations

6.1	Quelques références bibliographiques	28
6.2	Contacts utiles	29



Généralités

Le maïs (Zéa maïs, famille des Poacées) 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.

Ce guide pratique présente aussi bien la production que la transformation agroalimentaire du maïs. Il décrit les étapes et processus pour fabriquer la farine de maïs et donne quelques recettes culinaires.

1

PLANTE DE MAÏS

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

1.1 Anatomie du maïs

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

>>> 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.

>>> 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'entre-nœuds (d'une vingtaine de cm chacune). Au niveau de chaque nœud est insérée une feuille de façon alternative sur la tige.

>>> Les feuilles

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.

Anatomie du maïs

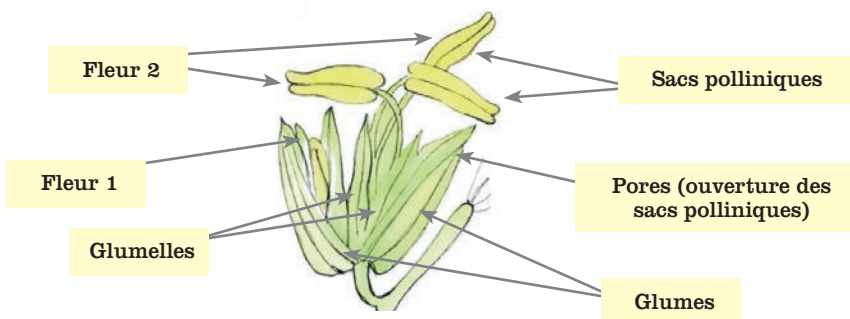


>>> Les inflorescences et les fleurs

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.

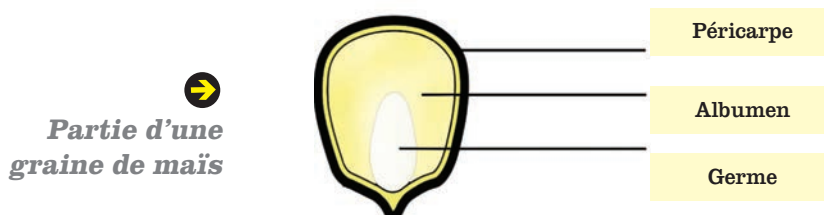
Épillet en fleur



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

>>> 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.



Les réserves énergétiques représentent 80 à 84 % du poids total du grain frais. Composées de féculs (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 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 %). La composition chimique des parties des grains de maïs est synthétisée ci-dessous :

Composant chimique	Péricarpe (%)	Albumen (%)	Germe (%)
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

Composition chimique des principales parties des grains de maïs

La composition chimique du grain de maïs et sa valeur nutritive lui confèrent une bonne position parmi les céréales entrant dans la catégorie « agroalimentaire ».

1.2 Physiologie, développement et résistance naturelle

La germination est déclenchée par l'imbibition du grain et par le développement de la radicule puis des racines séminales secondaires qui apparaissent au niveau du nœud scutellaire. À l'autre extrémité de l'embryon, la gemmule se développe sous forme de coléoptile qui pousse vers le haut et forme un plateau de tallage. À ce niveau se forment une première série de racines adventives, et parfois des tiges secondaires, puis le coléoptile perce le sol et s'ouvre en libérant les premières feuilles. À partir de ce stade, le jeune plant de maïs devient progressivement autotrophe.



1. Graine sèche qui gonfle sous l'humidité

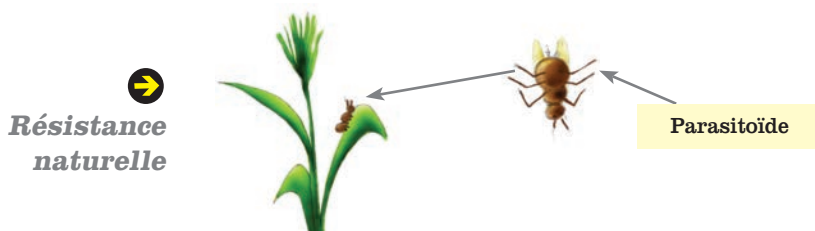
2. Radicule qui sort de la graine (2 à 3 j)

3. Coléoptile qui sort de la graine (3 à 4 j)

4. Levée (8 à 4 j)

↑ Quatre stades de la germination du grain de maïs

En effet, les jeunes plants de maïs accumulent une substance particulière, l'acide hydroxamique, qui crée une résistance naturelle contre toute une série d'ennemis de la plante : insectes, champignons et bactéries pathogènes.



Lorsque le maïs est attaqué par des larves phytophages comme la chenille de la pyrale, il émet des molécules volatiles qui attirent des insectes parasitoïdes prédateurs du ravageur, tels les trichogrammes dont la femelle pond dans les œufs de la pyrale. Ceux-ci sont détruits et n'éclosent pas. Les dégâts sur le maïs peuvent être ainsi évités sans avoir recours à des produits chimiques ou à du maïs génétiquement modifié.

2

PRODUCTION DU MAÏS

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

2.1 Mise en place

>>> Conditions écologiques

Cultivé 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.

>>> 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.

- Les variétés de grande taille et à cycle court sont adaptées aux régions de haute altitude. Les variétés naines sont adaptées à toutes les conditions agroclimatiques. Les variétés de cycle moyen sont adaptées aux altitudes moyennes.
- Privilégier les semences de bonne qualité sélectionnées dans les centres de recherche agronomique ou choisir les meilleurs épis de la récolte précédente. Les bons grains pour le choix des semences sont au milieu de l'épi. Les grains doivent être sains et provenir d'une variété pure et améliorée si possible et bien adaptée à la région. Les variétés locales peuvent donner de bons rendements si l'on prend soin de choisir les épis les plus gros et sains.

- Choisir des variétés en fonction du marché visé (consommation animale, humaine, industrielle) et de la région de la culture. Pour l'alimentation humaine, les variétés à gros grains (300 à 400 g par épi) sont à privilégier. Pour l'élevage, ce sont les variétés à petits grains (100 à 200 g par épi).
- Utiliser des semences ayant une faculté germinative d'au moins 90 %.
- Égrener les épis du maïs, trier les grains, éliminer les plus petits et les grains brisés, ainsi que ceux de la base et du sommet des épis qui germent moins bien.

>>> **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.

>>> **Matériel nécessaire**

- Les houes ou herbes 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.

>>> **Précédents culturels**

Le précédent culturel 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.

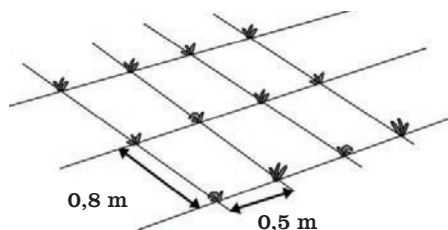
>>> Préparation du terrain

- 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.

>>> 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 ravageurs (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.

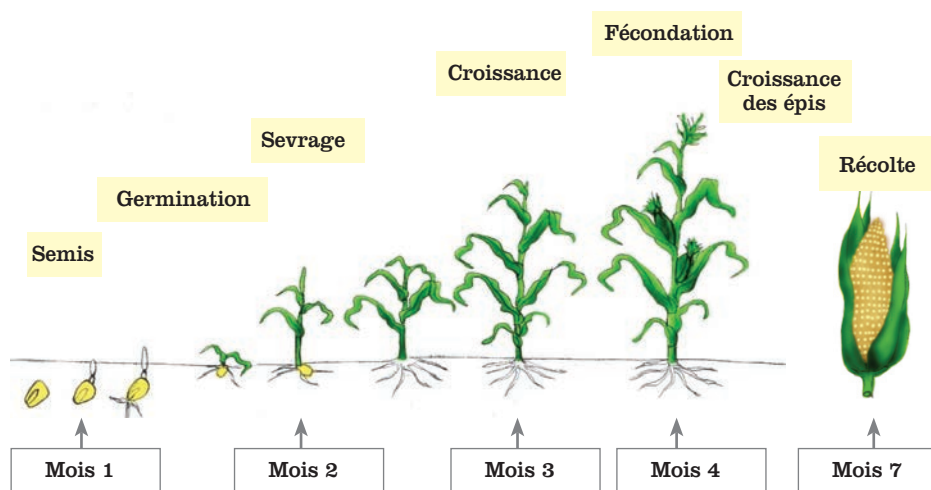
Les semences doivent avoir un pouvoir germinatif de plus de 90%.



↑ **Écartements dans un champ de maïs**

>>> **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.



↑ **Développement de la variété tardive du maïs**

Le maïs peut atteindre sa maturité entre 90 et 130 jours environ après l'émergence de la plante lorsque celle-ci est cultivée aux tropiques, à des élévations situées entre 0 et 1 000 m. À des élévations supérieures, il peut mettre 200 à 300 jours pour atteindre sa maturité. Même à la même altitude et avec des températures identiques, certaines variétés atteindront leur maturité beaucoup plus tôt que d'autres à cause de leur précocité. La principale différence entre une variété précoce (à 90 jours) et une variété tardive (à 130 jours) est la période de temps séparant l'émergence de la plante et la formation des aigrettes (période végétative).

Ce stade peut varier de 40 à 70 jours. La période reproductive (de l'apparition des aigrettes à la maturité) pour les deux espèces est relativement similaire et varie de 50 à 58 jours environ.

La formation des fleurs se produit environ 40 à 70 jours après l'émergence de la plante pour les variétés de 90 à 130 jours. La fleur émerge du verticille des feuilles 1 ou 2 jours avant qu'elle ne commence à perdre le pollen. La perte de pollen commence 2 à 3 jours avant que la soie n'émerge de l'extrémité de l'épi et continue pendant 5 à 8 jours.

La plupart des épis de maïs ont 14 à 20 rangées comportant 40 ovules ou plus par rangée et produisent environ 500 à 600 grains. Toute pénurie d'eau, d'éléments nutritifs ou de rayonnement solaire excessif au cours des premières semaines du développement des grains affectera ceux situés à l'extrémité de l'épi, en les recroquevillant ou les avortant. Le maïs est très sensible au stress (contrainte) d'humidité (pénurie d'eau) à ce stade, étant donné ses besoins plus importants en eau (jusqu'à 10 mm par jour dans des conditions très chaudes et sèches).

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.

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.

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.

Phase de maturation

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

2.2 Entretien

>>> 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 cultureux.

- L'apport de fertilisants est utile pour obtenir de bons rendements et éviter d'épuiser le sol. Il est conseillé d'associer la fumure organique à la fertilisation minérale (éléments minéraux N, P, K) nécessaire au développement de la culture.
- Pendant la préparation du sol, apporter – selon le niveau de fertilité du champ – 10 à 20 tonnes de fumier bien décomposé à enfouir au moment du labour. Dans les régions où l'élevage est absent, enfouir les résidus de récolte ou les produits de la jachère car le maïs réagit très bien à la fumure organique. Vous pouvez aussi apporter 100 kg à 250 kg/ha d'engrais N P K S Mg 15-15-15-6-1 ou d'engrais complet 20.10.10. La fertilisation peut aussi se faire par apport de compost, de fumier de ferme ou autres déjections d'animaux au moment du labour, à raison de 20 à 50 tonnes (200 à 500 sacs de 100 kg) par hectare tous les deux ans, soit un épandage de 2 à 5 sacs sur 100 m².
- Coupler le sarclo-buttage 3 à 4 semaines après le semis avec l'engrais de couverture. La fumure de fond est appliquée au labour par l'engrais complet 20.10.10 à la dose de 150 kg par ha ou constituée de compost, de fientes de poules ou autres déjections d'animaux à raison de 20 à 50 tonnes par hectare (200 à 500 sacs de 100 kg), soit un épandage de 2 à 5 sacs sur 100 m². La deuxième fertilisation, encore appelée fumure de couverture est appliquée à 6 semaines du labour (apporter de l'urée à raison de 100-150 kg/ha, soit 1 à 1,5 kg d'urée autour de chaque poquet) pour la première moitié. La deuxième application de fumure de couverture intervient à l'apparition des fleurs mâles.

Toujours tenir compte de la rentabilité de l'exploitation, lors du choix des options pour la fertilisation. Favoriser autant que possible, la fertilisation organique.

>>> **Désherbage**

- Faire le démariage 15 jours (au stade de 3 à 4 feuilles) après la germination en éliminant des plants de trop et les moins vigoureux de façon à obtenir une densité régulière (1 à 2 plants par poquet après démariage).
- 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. Deux à trois sarclages manuels sont nécessaires : le premier sarclage pendant le démariage, le deuxième sarclage au moment de l'apport de l'urée et le troisième sarclage avant la récolte lorsque la parcelle est très enherbée. Pour le désherbage chimique, juste après le semis et avant la levée des plants de maïs, traiter avec un herbicide de prélevée tel que Primagram Gold 660 SC (S-metolachlore 290 g/l + atrazine 370 g/l) à raison de 3 l/ha. Au cours du développement des plants de maïs, traiter avec du Roundup (Glyphosate 360 g/l) à raison de 1 l/ha. Prendre soin de préserver le système foliaire de la culture contre le produit qui est un désherbant total.
- Faire le premier sarclo-binage 15 à 30 jours après levée, suivi d'un léger buttage, car la concurrence des mauvaises herbes est très grave à ce stade. 45 jours après le premier, faire un deuxième buttage.



Champ bien entretenu

2.3 Protection

>>> Mauvaises herbes

Des mauvaises herbes telles que le striga provoquent des pertes énormes de rendement en se fixant sur les racines du maïs. La méthode de lutte intégrée qui consiste à utiliser des variétés de maïs tolérantes au striga (MTS appelé Violet de Katiola ; Acr97TZL Comp1-W) en association ou en rotation avec des légumineuses (soja, niébé, arachide) est efficace.



Quelques mauvaises herbes nuisibles au maïs

Après la récolte des légumineuses, semer du maïs tolérant au striga ou une légumineuse non feodée au striga entre les poquets de maïs trois semaines après. La légumineuse sera alors la culture piège qui réduira sensiblement le stock de graines de striga tout en améliorant la fertilité du sol.

En pratique agronomique, l'élimination par sarclage de tout plant de striga l'empêche de fleurir et de donner beaucoup de graines.

>>> Insectes nuisibles

Plusieurs insectes ont une incidence sur les rendements du maïs. Le tableau ci-dessous présente ces insectes, leurs symptômes et les méthodes de lutte.

Insectes ravageurs	Symptômes	Méthodes de lutte
	La larve de la pyrale du maïs (<i>Ostrinia nubilalis</i>) est la cause de diverses pourritures de la tige.	• Lutte biologique par la femelle de trichogramme. • Variétés résistantes.
	Le ver gris noir (<i>Agrotis ipsilon</i>) coupe les plants de maïs au ras du sol.	• Lutte chimique par <i>Décis</i> (15 g/l de deltaméthrine) qui s'utilise à la dose de 0,50 l/ha.
	Le ver de l'épi du maïs (<i>Helicoverpa zea</i>) cause des dommages souvent concentrés autour de la pointe de l'épi.	• <i>Bacillus thuringiensis</i> Spray, une lutte biologique contre les chenilles. • Mix de mélasse et d'appât à la pyréthrine et à la peinture autour de la base des plants de maïs pour tuer les adultes car ils sortent du sol.
	Le chrysomèle des racines (<i>Diabrotica virgifera</i>), dont la larve sectionne les racines, incurve les tiges en col-de-cygne et renverse des plants depuis leur base.	• Rotation des cultures, maïs/soja. • Contre les larves, utiliser des insecticides de synthèse (téflutrène), au moment des semis. • Épandage du <i>Décis</i> (15 g/l de deltaméthrine).
	L'altise du maïs (<i>Chaetocnema pulicaria</i>) est la cause de la maladie de Stewart (une brûlure bactérienne des feuilles).	• Le crapaud est le prédateur naturel de l'altise. • Mélange de cendre et de chaux appliqué en poudrage léger sur les jeunes plants. • Purins répulsifs d'ail ou de piments forts. • Pyrèthre qui paralyse les altises.
	Le puceron du maïs (<i>Rhopalosiphum maidis</i>) est un perceur-suceur qui se nourrit des sucs (éléments nutritifs).	• Lutte naturelle car une larve de coccinelle mange 100 pucerons par jour, ou bandes de glu, produites à base de pyréthrines naturelles, de deltaméthrine, de roténone ou d'acides gras (savon noir insecticide). • Plantes anti-pucerons (menthe, thym, absinthe).
	Les larves et les adultes de la cicadelle du maïs (<i>Zyginidia scutellaris</i>) se nourrissent du contenu des cellules des feuilles, provoquant l'apparition de nombreuses ponctuations blanches sur les feuilles pouvant aller jusqu'au dessèchement.	• Lutte chimique par <i>Decis Protech</i>, <i>Pearl Protech</i>, <i>Split Protech</i> (15 g/l de deltaméthrine). Ils s'utilisent à la dose de 0,83 l/ha.

La protection préventive du maïs par des entretiens culturels adéquats ou par l'utilisation des fongicides et d'insecticides biologiques ou chimiques est appropriée. Toutefois, il faudra au préalable s'assurer de la rentabilité économique de ces traitements.

>>> Maladies dominantes

Maladies	Symptômes	Méthodes de lutte
	Le charbon des inflorescences, l'helminthosporiose fusiforme (<i>Ustilago maydis</i>) sur épi et le charbon nu (<i>Sphacelotheca reiliana</i>), dû à l'agent pathogène (<i>Helminthosporium turcicum</i>) sont causés par un champignon qui s'attaque aux épis et tiges en provoquant des malformations et des poussières noires.	• Éviter les blessures mécaniques et les dommages causés par les herbicides. • Respecter les formules de fertilité équilibrée.
	Les symptômes de la Rouille du maïs (<i>Puccinia maydis</i>) apparaissent sur les feuilles inférieures sous la forme de petites pustules brun rougeâtre (couleur de rouille) poussiéreuses de 1 mm ; les pustules colonisent ensuite toutes les parties aériennes de la plante. À maturité, les pustules deviennent noires.	• Variétés tolérantes à la maladie. • Traitement des semences aux fongicides à bonne dose. • Arrachage et incinération des plants malades.
	L'Anthracnose du maïs (<i>Colletotrichum graminicola</i>) provoquée par un champignon brûle les feuilles et pourrit la tige.	• Utiliser des variétés résistantes comme meilleurs moyens de lutte contre la forme foliaire de l'anthracnose. • Pratiquer la rotation des cultures.
	Pourriture de la tige causée par des champignons avec des dommages allant jusqu'à nuire au remplissage du grain et à l'intégrité des tiges, et d'accélérer la sénescence et la circulation des éléments nutritifs.	• Réduire les facteurs de stress (choix de variétés de bonne résistance ou tolérance aux maladies foliaires et aux pourritures de la tige). • Combattre les insectes et les mauvaises herbes. • Éliminer les plants de trop. • Pratiquer la rotation des cultures. • Fertiliser à la dose adéquate en N (azote) et en K (potassium). • Travailler le sol en respectant les entretiens cultureux.
	Fusariose de la tige du maïs (<i>Fusarium sp</i>) causée par des champignons (<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Gibberella zeae</i>) provoquant des lésions ou tâches externes sombres aux nœuds inférieurs. À l'intérieur de la tige, le tissu pourri de la moelle prend une couleur rose saumon.	• Choix de variétés tolérantes. • Le traitement des semences diminue le risque d'attaque. • Enfouir les résidus de récolte (céréales, maïs). • Favoriser la rotation des cultures en évitant de cultiver le maïs après le maïs.
	Virus de la striure du maïs (MSV) avec des bandes blanchâtres continues sur la feuille au stade végétatif de 30 à 50 jours après levée.	• Arracher les plants virosés avant la floraison. • Semer les variétés tolérantes telles que F8128, DMRESR-Y, EV8766-SR-MRP (selon le milieu).

2.4 Récoltes et activités post-récoltes

Les épis de maïs sont récoltés frais ou secs selon le goût et les utilisations. La récolte des épis secs se fait lorsque les spathes de l'épi ont jauni et que les feuilles sont en voie de dessèchement, les graines de maïs ne doivent plus pouvoir se rayer aux ongles. 60 à 75 jours après le semis pour les variétés précoces et 75 à 85 jours après le semis pour les variétés tardives, les épis sont récoltés frais ou secs.

>>> Séchage des récoltes

- Ôter les spathes pour permettre un meilleur séchage.
- Sécher les épis de maïs sur des espaces ouverts, cimentés, sur des claies, sur des bâches en plastique, sur des séchoirs ou dans des cribs. Orienter les cribs perpendiculairement à la direction du vent pour assurer une dessiccation maximum.

Les cribs doivent être perpendiculaires à la direction du vent.



Séchage du maïs sur les cribs

- Sécher jusqu'à ce que les grains atteignent un taux d'humidité de 12 %.
- Protéger les récoltes séchées en traitant les épis par des produits de conservation comme Actélic 2 % DP (pyrimiphos-méthyl), à raison de 300 à 500 g pour 100 kg de grains pour éviter les charançons.
- Stocker dans un lieu aéré.

>>> Valorisation des résidus de récolte

Les résidus de récolte peuvent être enfouis au sol, utilisés comme mulch ou transformés en fumier ou compost.

>>> Ravageurs des grains stockés

La plupart des insectes des grains stockés appartiennent à deux ordres biologiques : les coléoptères et les lépidoptères. Les principaux insectes ravageurs sont :

Insectes ravageurs	Symptômes	Méthodes de lutte
	Le charançon du maïs (<i>Sitophilus zeamais</i>) détruit les grains stockés comme le maïs, le blé et le riz. La femelle ronge un petit orifice dans l'amande d'une graine et y pond un œuf. Au bout de quelques jours, la larve sort de l'œuf et se nourrit de l'intérieur du grain.	• Exposer le maïs en couches minces au soleil. • Utiliser des plantes répulsives, ou mélanger aux grains des plantes insectifuges telles que le neem. • Utiliser la lutte mécanique, telle que le transilage, secouage et passage au tarare pour éliminer une partie des insectes. • Recouvrir le maïs d'une pellicule d'insecticide. • Faire la fumigation des vapeurs insecticides mises au contact du maïs pour détruire rapidement toutes les formes.
	La teigne des fruits secs (<i>Plodia interpunctella</i>), la teigne des grains (<i>Nemapogon granella</i>) trahit sa présence par un fil de soie qui se manifeste par un enchevêtrement de fils blancs sur le dessus du tas de grain.	• Tenir les greniers propres et boucher les fissures des parois. • Traiter par le sulfure de carbone (phostoxin). • Employer des tarares spéciaux, dits tue-teignes, qui brisent les graines attaquées. • Battre et faire moudre le plus tôt possible après la moisson, désinfecter le grenier.
 larve  adulte	Les alucites des céréales (<i>Sitotroga cerealella</i>) infestent le stock en se nourrissant du germe, puis de l'intérieur du grain. Les fortes attaques entraînent une perte de pouvoir germinatif et communiquent au grain une odeur de rance.	• Procéder le plus tôt possible au battage à la machine après la moisson. • Faire le pelletage des tas de grains dans les greniers.

3

TRANSFORMATION DU MAÏS EN FARINE

Il existe plus de 400 variétés de maïs que l'on reconnaît à leurs différences :

- couleur de grain : jaune, brun, noir, voire bleu, blanc et jaune, blanc, jaune pâle et jaune foncé ;
- saveur : plus ou moins sucrée, farineuse ;
- utilisation : nutrition humaine, animale, industrie...



↑ *Quelques variétés de maïs*

Les grains de maïs peuvent être consommés verts, cuits, grillés, en salade, en soupe, secs (pop-corn, etc.), ou utilisés en provenderie ou comme fourrage, frais ou ensilé.

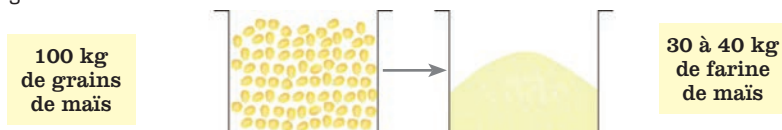
La farine de maïs fait partie des ingrédients courants les plus utilisés dans les préparations culinaires. Elle est utilisée comme une alternative à la farine de blé car son apport calorique est similaire. Toutefois, la farine de maïs offre un pourcentage d'environ 4,5 % dans les grains entiers, pourcentage plus élevé que celui de la farine de blé. Le pourcentage de fibres y est également beaucoup plus élevé, de même que leur contenu en vitamines B. De ce fait, la farine de maïs est un bon nutriment à intégrer dans l'alimentation.

3.1 Choix du matériel pour la fabrication de la farine de maïs

- Des silos pour le stockage du maïs ;
- un doseur de l'eau et un doseur de la chaux ;
- une chaudière ;
- une marmite ;
- un déshydrateur ;
- un tamis ;
- un moulin de pierre.

3.2 Estimation du volume de maïs nécessaire

La quantité de grains de maïs varie en fonction de celle de farine souhaitée. La production de farine de maïs est de 30 à 40% du poids des grains de maïs. On peut obtenir 38 kg de farine de maïs à partir de 100 kg de grains de maïs.



 **Volume de farine obtenue à partir de 100 kg de maïs**

3.3 Types de farine de maïs

La farine de maïs est une fine poudre obtenue par mouture des grains en utilisant différentes méthodes dont le choix dépend de l'utilisation et de la préparation des plats envisagés. Selon le degré de finesse de la mouture, la farine peut servir autant à la fabrication du pain qu'à d'autres plats. Les types de farine de maïs les plus connus sont :

- farine de maïs précuit où le maïs est cuit avant broyage. C'est la forme la plus commercialisée et la plus pratique ;
- farine de maïs à écosser avec ébullition des grains de maïs avec de la chaux, pour enlever sa coquille ;
- farine de maïs broyé où le maïs est moulu quand il est cru et cuit plus tard ;
- farine de maïs rôti où le maïs est torréfié avant d'être broyé ;
- le « Frangollo » est une farine épaisse utilisée pour faire un dessert du même nom.

3.4 Processus de fabrication de la farine de maïs

Après la récolte, les grains sont stockés dans des silos. Pour mieux conserver les grains de maïs, l'humidité doit être inférieure à la « norme commerciale » de 15 % de matières humides. Dans ces conditions, la durée du stockage peut atteindre 18 mois maximum.

Traditionnellement, une meilleure conservation de la farine nécessite de dégermer le grain (opération qui peut être réalisée de façon artisanale).

Pour fabriquer la farine de maïs, il faut :

- Ajouter une cuillerée à soupe de chaux vive (oxyde de calcium) dans chaque litre d'eau pour obtenir 1 litre de solution de chaux à 1 % environ.
- Additionner une partie des grains de maïs nettoyés pour deux parties de solution de chaux à 1 %. Il s'agit de mélanger 2 litres d'eau ayant deux cuillerées à soupe de chaux vive par kilo de grains de maïs. Ainsi, pour 100 kg de grains de maïs, il faudra ajouter 200 litres d'eau avec 200 cuillerées à soupe de chaux vive.
- Le mélange est porté à 80 °C pendant 20 à 45 minutes. Le temps de cuisson et de trempage du maïs varie selon les traditions locales et le type de préparation des aliments.
- Après cuisson, laisser immerger le maïs dans le bouillon pendant un moment.
- Puis, tremper le maïs cuit dans l'eau pendant quelques minutes jusqu'à une journée ou le laisser reposer toute la nuit jusqu'au lendemain, le temps qu'il s'éclate et que le bon grain soit séparé de l'épluchure (appelée peau). Pour voir si le processus a été correct, vous devriez être capable de peler les grains de maïs facilement entre vos doigts. La cuisson produit des changements de la protéine principale de maïs rendant les protéines et les nutriments de l'albumen du grain mieux assimilables par le corps humain.

Le temps nécessaire pour tremper le maïs cuit varie de quelques minutes jusqu'à une journée, en fonction de la nourriture à préparer et des traditions dans chaque pays.

- Après le trempage, le liquide alcalin contenant les coques dissoutes, l'amidon de maïs, les autres substances et toute impureté, est décanté et éliminé. Les sous-produits sont jetés ou idéalement donnés aux porcs.
- Puis, les grains, désormais appelés nixtamals, sont complètement lavés et nettoyés. Le péricarpe est ensuite retiré, ne laissant que le germe du grain. Ceci peut être fait manuellement de manière traditionnelle ou de façon mécanique à grande échelle.
- Le maïs nettoyé est écrasé en utilisant un mortier, une pierre volcanique ou un moulin. On obtient alors une pâte de farine de maïs.



Transformation du maïs à la pierre volcanique

- À ce moment, des disques de diamètre et d'épaisseur variables peuvent être faits. Cette pâte peut aussi être séchée en une farine grossière. Cette farine est ensuite tamisée pour séparer les particules grossières des particules fines. Les particules grossières sont de nouveau broyées tandis que les particules fines sont prêtes pour l'utilisation ou emballées en sacs de papier doublé.

4

COMMERCIALISATION DU MAÏS

De nos jours, le maïs se produit à toutes les périodes de l'année, de sorte que s'est développé autour de cette denrée un commerce de grande ampleur depuis le stade du maïs frais jusqu'aux produits transformés.

4.1 Vente de maïs frais

Un hectare de maïs peut coûter 268 925 FCFA (410 euros). Les charges en intrants représentent 67 % des coûts de production. Les charges de main-d'œuvre, quant à elles, sont de 8,4 % environ. Avec un rendement de 6,5 tonnes par hectare et un prix au champ de 65 FCFA par kg, le bénéfice est de 153 575 FCFA.

Désignation	Charges			Produits		
	Quantité	Prix unitaire	Montant	Quantité	Prix unitaire	Montant
Vente de la production (kg)				6 500	65	422 500
Achat semences (kg)						
Engrais NPK et urée (kg)	150	222	33 300			
Fumure organique	5	13 000	65 000			
Labour et pulvérisation	1	25 000	25 000			
Lubrifiant et carburant			57 500			
Main-d'œuvre (HJ/mois)	10	2 250	22 500			
Dotation aux amortissements par ha			15 626			
TOTAL			268 925			422 500
Résultat net d'exploitation avant impôt			153 575			

Exemple de compte d'exploitation pour 1 hectare de maïs

Sur le marché, le prix du kg de maïs est d'environ 0,34 euros (223 FCFA). Pour bien vendre son maïs, il faut s'assurer de la qualité du maïs (bonne qualité des graines et bon conditionnement) et vendre à une période où les prix sont élevés. Si possible, fidéliser sa clientèle par des contrats de vente.

4.2 Vente de la farine de maïs

La farine de maïs peut être utilisée en boulangerie ou pâtisserie (crêpes, gaufres, brioches, beignets, tartes, puddings, muffins ou biscuits), ou encore pour donner de la consistance à plusieurs aliments (sauces, soupes, sirops ou crèmes pâtisseries) et pour des usages non alimentaires, notamment la fabrication de la pâte à modeler ou de la colle artisanale.

L'idéal est de vendre la farine de maïs dans des emballages de 1 kg. Il faut environ 1 tonne de maïs pour produire 380 kg de farine de maïs. Le coût de production par tonne est fonction de l'investissement de départ réalisé pour l'acquisition du matériel et des graines de maïs. La production de 380 kg de farine nécessite environ 345 euros (226 305 FCFA) pour l'achat des graines de maïs, 5 euros (3 279 FCFA) pour les emballages et le reste pour l'amortissement de l'équipement et la main-d'œuvre. Le kilo de farine produit peut être vendu 1,5 euro (983 FCFA) minimum.



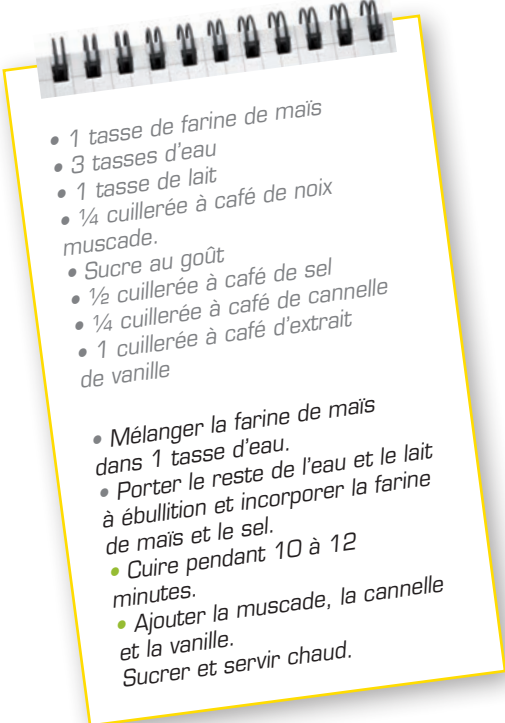
 **Farine de maïs**

5

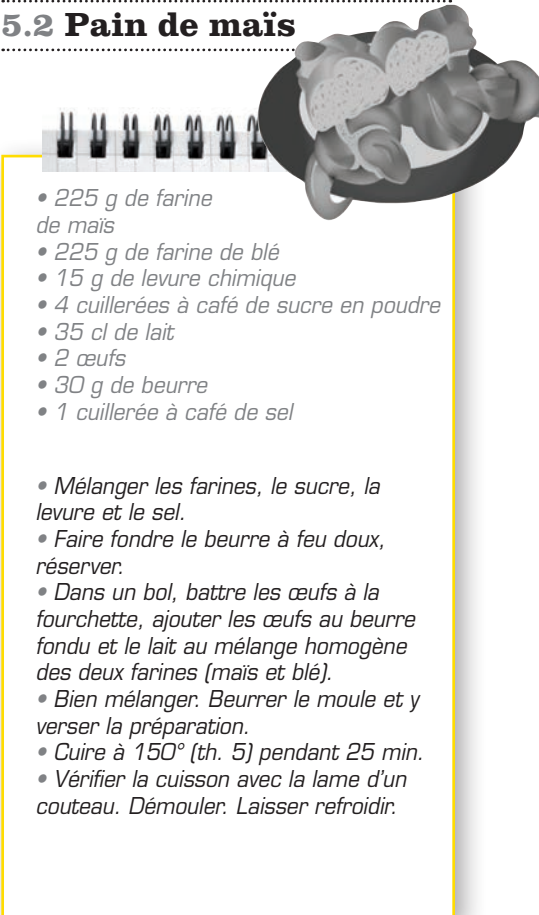
QUELQUES UTILISATIONS CULINAIRES DE LA FARINE DE MAÏS

Principal moyen de valorisation culinaire du maïs, la farine de maïs peut être utilisée sous plusieurs formes.

5.1 Boullie de maïs

- 
- 1 tasse de farine de maïs
 - 3 tasses d'eau
 - 1 tasse de lait
 - ¼ cuillerée à café de noix muscade.
 - Sucre au goût
 - ½ cuillerée à café de sel
 - ¼ cuillerée à café de cannelle
 - 1 cuillerée à café d'extrait de vanille
-
- Mélanger la farine de maïs dans 1 tasse d'eau.
 - Porter le reste de l'eau et le lait à ébullition et incorporer la farine de maïs et le sel.
 - Cuire pendant 10 à 12 minutes.
 - Ajouter la muscade, la cannelle et la vanille.
 - Sucrer et servir chaud.

5.2 Pain de maïs

- 
- 225 g de farine de maïs
 - 225 g de farine de blé
 - 15 g de levure chimique
 - 4 cuillerées à café de sucre en poudre
 - 35 cl de lait
 - 2 œufs
 - 30 g de beurre
 - 1 cuillerée à café de sel

- Mélanger les farines, le sucre, la levure et le sel.
- Faire fondre le beurre à feu doux, réserver.
- Dans un bol, battre les œufs à la fourchette, ajouter les œufs au beurre fondu et le lait au mélange homogène des deux farines (maïs et blé).
- Bien mélanger. Beurrer le moule et y verser la préparation.
- Cuire à 150° (th. 5) pendant 25 min.
- Vérifier la cuisson avec la lame d'un couteau. Démouler. Laisser refroidir.

6

AUTRES INFORMATIONS

6.1 Quelques références bibliographiques

FAO. 1992. *Le système de stockage du maïs en milieu paysan béninois : bilan et perspectives*, par Y.-S. Fiagan. Rome. Chapitre 2.

Konaté, G. et Traoré, O., 1992, « Les hôtes réservoirs du virus de la striure du maïs (MSV) en zone soudano-sahélienne : identification et distribution spatio-temporelle », *Phytoprotection*, vol. 73, no 3, p. 111-117.

Lamy, D., Fauquet, C. et Thouvenel J.-C., 1982, « Quelques viroses du maïs en Côte d'Ivoire », *Agronomie Tropicale*, 35 (2), p. 193.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2009. *Insects and pests of field crops*. Ontario, Canada, OMAFRA Publication 811. August 2009.

Observatoire National de l'Emploi et de la Formation Professionnelle (ONEF), juin 2007, « Compte d'exploitation d'un hectare de maïs », *Études sur les créneaux porteurs*, Burkina Faso, p. 78.

Picard, D. 1991. *Physiologie et production du maïs*. Paris, Éditions Quae, pp. 15-78.

Teme, B., Sanogo, O. et Boughton, D. 1995. « Le maïs dans les systèmes de production du sud du Mali: historique et perspectives ». Dans *Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest*; Actes du séminaire "Maïs prospère" 25-28 janvier 1994, Cotonou, Bénin / Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier (France); FAO, Rome (Italie). Div. de la Production Végétale et de la Protection des Plantes; Université Nationale du Bénin, Cotonou (Bénin). Faculté des Sciences Agronomiques, pp. 173-179.



6.2 Contacts utiles

■ Institut de Recherche Agronomique pour le Développement (IRAD)

B.P. 2067 Yaoundé

Tél. : +(237) 22 22 59 24 / 22 22 33 62

www.irad-cameroon.org

■ Laboratorio de Tecnología de Alimentos

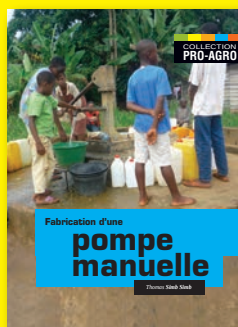
CENTA, El Salvador

Vilma Ruth Calderon de Zacatares

Tél. : +(503) 2302-0200 ext 246

Courriel : vilmaruth02@yahoo.com ou vilmita@neo.tamu.edu

Dans la même collection...



Fabrication d'une pompe manuelle

Thomas Simb Simb

Production améliorée du bananier plantain

E. Lionelle Ngo-Samnick

Production et transformation du rotin

E. Lionelle Ngo-Samnick

Elevage des aulacodes

E. Lionelle Ngo-Samnick

Production et transformation du

maïs

PRO-AGRO est une collection d'ouvrages pratiques et illustrés, coéditée par le CTA et ISF Cameroun. Elle constitue un outil d'information idéal pour les agriculteurs, les communautés rurales et les agents de vulgarisation œuvrant en zone tropicale et sub-tropicale.

Ce guide pratique présente la production du maïs et sa transformation agroalimentaire pour obtenir la farine. Il présente les étapes à partir de la production du maïs jusqu'à la fabrication de la farine, en utilisant le processus de la fabrication de farine de maïs précuit ou nixtamalisation. Une partie du guide pratique donne quelques recettes.

- **Le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA)** est une institution internationale conjointe des Etats du Groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et de l'Union européenne (UE). Il intervient dans les pays ACP pour améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, accroître la prospérité dans les zones rurales et garantir une bonne gestion des ressources naturelles. Il facilite l'accès à l'information et aux connaissances, favorise l'élaboration des politiques agricoles dans la concertation et renforce les capacités des institutions et communautés concernées. Le CTA opère dans le cadre de l'Accord de Cotonou et est financé par l'UE.

- **Ingénieurs Sans Frontières (ISF)** est un réseau professionnel établi dans plus de 52 pays pour promouvoir le développement humain à travers l'accès aux connaissances scientifiques et techniques. Au Cameroun, ISF accompagne les populations dans leur lutte pour le développement en renforçant leurs capacités techniques par le partage et la diffusion des informations adaptées à leurs besoins.

ISBN 978-92-9081-494-8



9 789290 814948 >

