



# Directives pour la régénération

# Mil à chandelles

**HD Upadhyaya, KN Reddy et DVSSR Sastry**

*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Andhra Pradesh, Inde*



## Introduction

Le mil à chandelles *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br, aussi connu comme petit mil, millet perle, jonc des chaisiers ou quenouille, constitue une culture céréalière et fourragère importante en Afrique et en Asie du Sud et une culture fourragère aux Amériques. On le cultive principalement en conditions chaudes et sèches, sur des terres infertiles ayant une faible capacité de rétention d'eau et là où les autres cultures échouent généralement. Le mil à

chandelles appartient à la famille de Poacacées, à la sous-famille des Panicoidées, à la tribu des Panicées, à la sous-tribu des Panicinées, à la section des Pénicillaires et au genre *Pennisetum*. Le genre *Pennisetum* comporte environ 140 espèces. Les parents sauvages importants du mil à chandelles cultivé comprennent le progéniteur *Pennisetum glaucum* subsp. *Monodii* Maire, *P. purpureum* K. Schumach., *P. pedicellatum* Trin., *P. orientale* Rich., *P. meizianum* Leake et *P. squamulatum* Fresen. Les anciennes appellations sont *P. typhoideum* L.C. Rich. et *P. americanum* (L.) Leake. Les quatre formes cultivées du mil à chandelles sont Typhoides (que l'on retrouve principalement en Inde et en Afrique), Nigritarum (prédominant dans l'Est du Sahel), Globosum (prédominant dans l'Ouest du Sahel) et Leonis (prédominant sur la côte ouest africaine). 1977; Rai et al. 1997; Syngenta 2008).

Le mil à chandelles est une espèce C4 et atteint une hauteur de 5 m. Il est allogame et les populations naturelles sont hautement hétérogènes. L'émergence du stigmate précède celle de l'anthere, ce qui entraîne une exogamie élevée provoquée par le vent. Il est nécessaire de prendre des précautions afin d'empêcher l'exogamie pendant la régénération et de préserver l'intégrité génétique des accessions de germoplasme.

## Choix de l'environnement et de la saison de plantation

### Conditions climatiques

- Le mil à chandelles peut pousser dans une large gamme de conditions écologiques.
- Des conditions de précipitation et d'humidité relative faibles sont souhaitables lors du mûrissement et de la maturation des graines.
- Si les semences sont plantées avant que les températures du sol n'atteignent 23 °C, il peut en résulter une mauvaise émergence et une mauvaise croissance de la plante.
- La pluviométrie annuelle optimale est de 350-500 mm.
- Il peut également être cultivé sous irrigation.

### Saison de plantation

- Le mil à chandelles est une espèce de jour court et fleurit tôt lorsque les jours sont courts. Une journée de 12 heures et une température de 28-30 °C conviennent à la croissance de la culture (Bidinger et Rai 1989).
- Choisir le moment de la plantation de telle sorte que la floraison et le développement de la graine coïncident avec des conditions environnementales favorables, afin de favoriser la floraison et la production de graines dans tous les groupes de maturité.
- Si l'irrigation est disponible, la régénération devrait être réalisée hors saison (en dehors de la saison des pluies) lorsque les jours sont courts. Ceci afin de favoriser la floraison et la production de graines pour les germoplasmes photosensibles.
- Dans ces conditions, l'incidence des organismes nuisibles et des maladies est généralement faible.

## Préparation à la régénération

### Quand régénérer

- Lorsque les stocks de semences pèsent moins de 50 g.
- Lorsque le pourcentage de germination descend en dessous de 75%.
- Lorsque 25 % des semences sont infectées par un ou plusieurs des champignons tels que *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Macrophomina*, *Penicillium*, *Phoma* et *Rhizopus* spp. (Rao et Bramel 2000).

### Echantillon de semence

- Afin de maintenir l'intégrité génétique, utiliser, autant que possible, les semences provenant de la source originale.
- La régénération nécessite un minimum de 120 plantes.
- La régénération d'une accession de germoplasme nécessite au moins 9 g de semences.
- En raison de la petite taille de la semence, préparer les échantillons de semences avec précaution.
- Traiter les semences au fongicide afin de contrôler les champignons transmis par les semences.
- Pour chaque accession, préparer un paquet de semences pour l'ensemencement de chaque rangée.
- Marquer les paquets du numéro d'identification et du numéro de rangée et les disposer selon l'agencement du champ.

### Choix du champ et préparation

- Choisir un champ qui n'a pas été planté en mil à chandelles pendant les deux années précédentes, afin de réduire le risque d'apparition de plantes spontanées et de maladies.
- Le mil à chandelles peut être cultivé sur une grande variété de sols, allant des terreaux argileux aux sables profonds. Les rendements et la qualité du grain sont cependant les meilleurs sur des sols profonds, bien drainés et productifs.
- Le développement racinaire peut être fortement restreint par les conditions du sol. Par exemple lorsque les degrés d'humidité sont excessivement élevés ou faibles et que la terre est dure et compacte.
- Le mil à chandelles peut tolérer des sous-sols acides jusqu'à un pH aussi bas que 4. Mais il pousse mal sur des sols calcaires.
- Labourer afin d'enfouir complètement tous les résidus de cultures, les cultures spontanées et les mauvaises herbes.
- Eviter les champs infestés par l'herbe des sorcières ou le striga.
- Préparer le terrain pour qu'il ait une structure fine, en le labourant profondément puis en le hersant trois ou quatre fois.
- Nivelier le champ et façonner des tertres espacés de 75 cm.

### Méthode de régénération

#### Pollinisation

La plante étant majoritairement allogame, il est important de contrôler correctement l'exogamie causée par le vent et les insectes, afin de maintenir l'intégrité génétique des différentes accessions. Pendant la régénération, la pollinisation peut être effectuée de trois façons différentes, notamment par ensachement groupé, par accouplement et par autofécondation. L'ensachement groupé et l'accouplement sont utilisés pour régénérer les populations naturelles. Les deux méthodes peuvent être utilisées indifféremment, selon les ressources et le degré d'intégrité génétique recherché. L'ensachement groupé a tendance à être plus facile à mettre en place et moins coûteux. Mais il présente un risque plus élevé de diminution de l'intégrité génétique. Tandis que l'accouplement demande beaucoup de travail mais peut permettre d'atteindre une intégrité génétique supérieure. La méthode de l'accouplement est réalisée dans le but de maintenir les lignées mâles stériles (Rao et Bramel, 2000). L'autofécondation est principalement utilisée pour régénérer les stocks génétiques consanguins.

- Ensachement groupé :
  - Avant l'émergence du stigmate, prendre une panicule par plante, sur un groupe de 2-4 plantes adjacentes d'une rangée, et les recouvrir ensemble à l'aide d'un sachet en papier parchemin.
  - Agrafer ou utiliser un trombone pour maintenir ensemble les coins des sachets, afin qu'ils ne soient pas soufflés de la panicule.
  - La pollinisation a lieu entre les panicules situées à l'intérieur du sachet.
- Accouplement :
  - Recouvrir une panicule individuelle dans un sachet en papier parchemin, avant que les anthères ne commencent à tomber (photo 2).
  - Agrafer ou utiliser un trombone pour maintenir ensemble les coins des sachets, afin qu'ils ne soient pas soufflés de la panicule.
  - Après 2-3 jours, enlever les sachets et recueillir le pollen des panicules mûres dans un même sachet en papier, en tapotant légèrement les panicules. Les recouvrir ensuite à nouveau à l'aide de leurs sachets.

- Lorsque les stigmates ont émergé, enlever les sachets des panicules et saupoudrer le pollen recueilli sur les stigmates de toutes les plantes d'une accession. Recouvrir ensuite les panicules de sachets en papier.
- Noter la date de pollinisation sur les sachets.
- Continuer le processus de recueil de pollen et de saupoudrage pendant 4-5 jours pour chaque accession, selon la longueur de la panicule et la durée de la floraison.
- Autoféconder les plantes qui fleurissent très tôt en recouvrant les panicules par des sachets en papier parchemin. Si les plantes fleurissent très tard, les polliniser à l'aide du pollen recueilli à partir des cultures à floraison précoce. Si ces cultures ne sont pas disponibles, autoféconder également les plantes fleurissant tard.
- S'assurer que toutes les plantes de l'accession soient accouplées ou autofécondées.
- Enlever les sachets 2 semaines après la floraison (au stade pâteux). Les attacher autour des panicules afin d'identifier les panicules autofécondées/accouplées, lors de la récolte (Rao et Bramel 2000).
- Autofécondation :
  - Avant l'émergence des stigmates, recouvrir les différentes panicules par des sachets en papier parchemin et les agraffer (photo 2).
  - Noter la date de pollinisation sur les sachets.

### **Disposition des plantations, densité et distance**

- Diviser le champ en lots en laissant des sentiers de 1 m entre ces derniers. La largeur des lots doit être d'au moins 4 m, selon la taille du champ.
- Marquer les rangées sur chaque lot, selon un espacement de 75 cm et perpendiculairement à la longueur du champ. On obtient des rangées d'au moins 4 m de long ou plus, selon la largeur du lot.
- Attribuer des numéros de rangée selon un motif en serpenteau (c'est-à-dire de gauche à droite dans la première rangée, puis de droite à gauche dans la deuxième rangée ou vice versa).

### **Méthode de plantation**

- Planter à l'aide d'un plantoir à quatre cônes, monté sur un tracteur, ou semer manuellement.
- Planter au sommet des tertres pour favoriser un drainage correct, faciliter les opérations au champ et occasionner une forte disponibilité en humidité dans le sol.

### **Etiquetage**

- Marquer chaque accession à l'aide d'une étiquette attachée à un piquet, à hauteur du genou.
- Les étiquettes doivent être en papier robuste pour résister aux intempéries.

## **Gestion des cultures**

### **Gestion des mauvaises herbes**

- Pulvériser un herbicide de pré émergence selon la dose recommandée, afin de minimiser les mauvaises herbes (Andrews et al. 1993).
- Labourer les entre-lignes 15-20 jours et 30-35 jours après l'ensemencement. Mettre de la terre autour de la base des plantes après 35-40 jours, afin de limiter la verse.

- Désherber une ou deux fois à la main, selon la quantité de mauvaises herbes.
- Le contrôle des mauvaises herbes est critique aux alentours de 25-30 jours après l'ensemencement.

### **Eclaircissage**

- Après 15 jours, éclaircir la culture jusqu'à environ 120 plantes sur 1-3 rangées.
- Eclaircir à nouveau lorsque les plantules sont âgées de 2-3 semaines, en laissant un espacement de 10 cm entre les plantes et un minimum de 40 plantes par accession.

### **Fertilisation**

- Si possible, tester le sol pour identifier les besoins en engrais et appliquer les engrais selon les recommandations.
- Si l'on en dispose, appliquer 6-7,5 t/ha de fumier fermier et l'incorporer avant le dernier labour.
- 30 jours après l'ensemencement, appliquer une dose de base de diphosphate d'ammonium (150kg/ha) et d'urée (100 kg/ha) comme traitement de surface.

### **Irrigation**

- Si le sol n'est pas assez humide, appliquer une irrigation supplémentaire après l'ensemencement. Irriguer de nouveau si les feuilles flétrissent, à tout stade de la croissance de la culture, et s'assurer que la terre ait une humidité suffisante pendant la floraison.
- Veiller à ce que le champ soit bien drainé car l'engorgement d'eau endommage gravement la culture.

### **Organismes nuisibles et maladies courants**

Convenir d'une visite du champ par les pathologistes et les entomologistes afin d'identifier les organismes nuisibles et les maladies ainsi que le moyen de les contrôler. Les principaux organismes nuisibles et maladies du mil à chandelles comprennent :

- Mildiou duveteux (*Sclerospora graminicola* (Sacc.) J. Schröt): les principaux symptômes sont la chlorose de certaines parties de la plante, le rabougrissement et le développement d'épis verts.
- Charbon (*Moeszimyces penicillariae* (Bref.) Vanky): au moment de la floraison, un pathogène transmis par la terre infecte la culture par les stigmates. Il se forme de grands sores bruns à la place des graines.
- Ergot (*Claviceps fusiformis* Loveless): au moment de la floraison, un pathogène transmis par la terre infecte la culture par les stigmates. Il se forme des structures dures, brun foncé à noires, plus grandes que les graines et sortant des fleurets à la place des graines.
- Rouille (*Puccinia pennisiti*): les tissus des feuilles se nécrosent à partir des parties distales, vers les parties basales de la feuille. le tissu foliaire infecté développe des lésions circulaires hypertrophiées de couleur jaune vert, avec un bord orange distinct.
- Noctuelle de l'épi (*Heliothis albipunctella* De Joannis): se nourrit des panicules et entraîne des pertes considérables en rendement.

### **Lutte contre les organismes nuisibles et les maladies**

- Traitement des graines
- Pulvérisation d'insecticides/fongicides recommandés, s'ils sont disponibles
- Pratiques culturales
- Rotation des cultures

## Récolte

- Récolter 5-6 semaines après l'ensachement, selon le temps que met l'accession pour atteindre la maturité.
- Déterminer la maturité physiologique par la présence d'une tache noire (foncée) à la base de la graine.
- Lorsque la culture mûrit, les feuilles jaunissent et sèchent et le grain est dur et ferme.
- Couper les panicules ensachées ou autofécondées, juste sous leur base – en couper une de chaque plante, sur au moins 120 plantes par accession.
- Rassembler les panicules d'un même lot (accession) dans un sac en jute étiqueté sur l'intérieur et l'extérieur, à l'aide d'étiquettes détachables.
- Ne pas récolter les plantes malades.

## Gestion de l'après récolte

- Faire sécher les panicules à l'ombre pendant une semaine, jusqu'à ce que le taux d'humidité soit réduit à 12%.
- Battre les différentes panicules en les tapotant légèrement à l'aide de branches et nettoyer les semences en les vannant.
- Recueillir des quantités égales de semences à partir de chaque plante afin de reconstituer l'accession.
- Empêcher le mélange des semences pendant le battage et la manutention.
- Rassembler les semences dans un sachet en tissu de mousseline étiqueté, en vue du séchage ultérieur. Celui-ci devra être effectué de préférence à une température et une humidité relative inférieures.
- Eviter le traitement chimique des semences destinées au stockage.
- Envoyer un échantillon représentatif pour les tests de viabilité et de santé des semences.
- Rejeter les échantillons de semences ayant un pourcentage élevé d'infection par des champignons transmis par les graines (>25%) et présentant moins de 75 % de viabilité. Mettre de telles accessions en liste pour la prochaine régénération.
- Pour une conservation à moyen terme, faire sécher les semences jusqu'à un taux d'humidité de 8-9 %.
- Pour une conservation à long terme, faire sécher les semences jusqu'à un taux d'humidité de 5-7 %, sous ventilation forcée, à 15 °C et 15-20 % d'humidité relative (Rao et Bramel 2000).
- Si l'on ne dispose pas d'une chambre de séchage ni de facilités permettant la ventilation forcée, faire sécher les graines à l'aide de gel de silice ou d'un autre desséchant approprié, jusqu'à ce que le taux d'humidité atteigne 5-7 %.
- Contrôler l'identité de l'accession en comparant les caractéristiques des semences.
- Conditionner les semences dans des récipients étanches à l'air, en vue de leur conservation et de leur distribution.

## Suivi de l'identité de l'accession

- Eliminer les non-conformités et les plantes poussant en dehors de la rangée.
- Comparer les traits suivants parmi les données de caractérisation :
  - Forme de la panicule
  - Forme du grain
  - Couleur du grain
- Eliminer les plantes qui sont de véritables mélanges.

## Régénération des espèces sauvages

- Maintenir les espèces sauvages en vie dans des environnements correctement contrôlés. Ceci afin d'éviter la possibilité d'exogamie du germoplasme avec des espèces apparentées ainsi que l'introduction de nouvelles espèces de mauvaises herbes.
- Préparer de grands lits de 1,5 m de large et de 6 m de long.
- Faire germer les espèces sauvages dans des gobelets en papier et les transplanter en soirée, avec un espacement de 20 cm.
- Recouvrir les panicules par des sachets de papier parchemin, avant l'émergence des stigmates, afin d'empêcher l'exogamie et la perte de semences causée par l'égrenage.
- Récolter les panicules individuellement, 5-6 semaines avant l'anthèse.
- Détacher les graines en écrasant les fleurets entre les mains.
- Nettoyer les semences et recueillir des quantités égales de semences à partir de chaque plante afin de reconstituer l'accession.
- Pendant la saison des pluies, élaguer les espèces pérennes et rhizomateuses jusqu'à 30 cm au dessus du niveau du sol, pour éviter le mélange avec les accessions adjacentes.
- Utiliser une taille d'échantillon de 8-10 plantes par accession (Rao et Bramel 2000).

## Documentation de l'information pendant la régénération

Les informations suivantes devraient être recueillies pendant la régénération :

- Nom du site de régénération et plan / coordonnées GPS
- Nom du collaborateur
- Référence du champ/ du lot/ de la pépinière/ de la serre
- Numéro de l'accession ; identification de la population
- Origine des semences
- Génération ou multiplication ou régénération précédentes (si la génération n'est pas connue)
- Préparation des matériels de plantation (pré traitements).
- Date d'ensemencement et densité
- Configuration utilisée pour le champ.
- Détails concernant la gestion du champ (arrosage, engrais, désherbage, lutte contre les organismes nuisibles et les maladies, contraintes enregistrées, autres).
- Conditions environnementales (altitude, précipitation, type de terre, autres).
- Emergence dans le champ ou la serre (nombre de plantes ayant germé).
- Nombre de plantes installées.
- Nombre de jours entre l'ensemencement et la floraison
- Système de reproduction
- Méthode utilisée pour le contrôle de la pollinisation (méthode, nombre de plantes pollinisées).
- Date et méthode de récolte.
- Nombre de plantes récoltées.
- Quantité de graines récoltés
- Traits agro-morphologiques enregistrés
- Comparaisons avec le matériel de référence (enregistrer tous numéros d'identification ou toutes références de tous échantillons prélevés sur ce lot de régénération).
- Après récolte (décrire toute procédure pertinente)

## Références et lecture complémentaire

- Andrews DJ, Rajewski JF, Kumar KA. 1993. Pearl millet: New feed grain crop. In: Janick J, Simon JE, éditeurs. *New crops*. Wiley, New York, USA. pp. 198–208. Disponible sur : <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/v2-198.html>. Visité le : 3 octobre 2008.
- Bidinger FR, Rai KN. 1989. Photoperiodic response of paternal lines and F1 hybrids in pearl millet. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 49:257–264.
- Brunken JN, de Wet JMJ, Harlan JR. 1977. The morphology and domestication of pearl millet. *Economic Botany* 31:163–174.
- Rai KN, Appa Rao S, Reddy KN. 1997. Pearl millet. In: Fuccillo D, Sears L, Stapleton P, éditeurs. *Biodiversity in Trust, Conservation and use of Plant genetic Resources in CGIAR Centers*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 243–258.
- Rao NK, Bramel PJ. 2000. *Manual of Genebank Operations and Procedures*. Technical Manual no. 6. ICRISAT, Patancheru, Inde.
- Syngenta. 2008. What is pearl millet? Disponible sur : [http://www.syngentafoundation.org/what\\_is\\_pearl\\_millet.htm](http://www.syngentafoundation.org/what_is_pearl_millet.htm). Visité le 3 octobre 2008.

## Remerciements

Ces directives ont été évaluées par Kameswara Rao, de l'*International Center for Biosaline Agriculture*, à Dubai, aux Emirats Arabes Unis.

## Comment citer correctement cet ouvrage

Upadhyaya H.D., Reddy K.N. and Sastry D.V.S.S.R. 2008. Directives pour la régénération : mil à chandelles. In: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and Hanson J., editors. *Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]*. CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Rome, Italy. 10 pp.



1 ICBA

2 Ensachement des panicules lors de la régénération du mil à chandelles (*Pennisetum glaucum*).  
ICRISAT

