

GUIDE

DE BONNES PRATIQUES DE PRODUCTION DU VINAIGRE DE DATTES



GUIDE DE BONNES PRATIQUES DE PRODUCTION DU VINAIGRE DE DATTES

Edition : Janvier 2026

Ce guide de bonnes pratiques de production de vinaigre de dattes a été élaboré par Dr. Monia Jemni, maître assistant à l'enseignement supérieur agricole au Centre de Recherche en Agriculture Oasienne de Degache, dans le cadre du Projet d'Accès aux Marchés des Produits Agroalimentaires et de Terroir PAMPAT (phase 2) en étroite collaboration avec le Groupement Interprofessionnel des Dattes (GIDattes) et la Direction Générale des Industries Alimentaires (DGIA) au sein du ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines. PAMPAT est un projet financé par le Secrétariat d'Etat à l'Economie de la Confédération Suisse (SECO) et mis en œuvre en Tunisie par l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI).

Ce document a été établi sans avoir été revu par les services d'édition de l'ONU. Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, à la délimitation de leurs frontières, à leur système économique ou à leur degré de développement. Les désignations telles que « développé », « industrialisé » et « en développement » sont utilisées à des fins statistiques et n'expriment pas nécessairement un jugement sur le stade de développement atteint par un pays ou une région donnée dans le cadre du processus. La mention de noms de sociétés ou de marques commerciales ne constitue pas un aval de l'ONUDI. Les opinions, chiffres et estimations y figurant relèvent de la responsabilité des auteurs et ne doivent donc pas être considérés comme reflétant les opinions de l'ONUDI ou comme ayant été approuvés par elle.

Photos © ONUDI

TABLE DES MATIÈRES

I. INTRODUCTION	06
II. DÉFINITION DU VINAIGRE	06
III. FABRICATION DU VINAIGRE : PRINCIPES ET PROCÉDÉS	07
III.1 Principe de fabrication du vinaigre	07
III.2 Procédés de fabrication du vinaigre	08
III.2.1 Procédé artisanal : procédé d'Orléans	08
III.2.2 Procédés industriels	08
IV. LES BONNES PRATIQUES D'HYGIÈNE	09
IV.1 Le milieu	09
IV.2 La main d'œuvre	10
IV.3 La matière première	10
IV.4 Le matériel	10
IV.5 La méthode	10
V. LES BONNES PRATIQUES DE FABRICATION DE VINAIGRE DE DATTES	11
V.1 Diagramme de fabrication	11
V.2 Les étapes de production du vinaigre de dattes	11
V.2.1 Réception des dattes	12
V.2.2 Triage des dattes	12
V.2.3 Lavage des dattes	13
V.2.4 Dénoyautage	13
V.2.5 Broyage	14
V.2.6 Préparation du moût	14
V.2.7 Fermentation alcoolique	16
V.2.8 Fermentation acétique	17
V.2.9. Clarification	19
V.2.10. Pasteurisation	20
V.2.11. Emballage et étiquetage	20
V.2.12. Stockage du vinaigre	21
VI. CRITÈRES DE QUALITÉ DU VINAIGRE	21
VII. TEXTES RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS	21
VIII. CONCLUSION	21
IX. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	22
X. ANNEXES	23

I. INTRODUCTION

Avec une production annuelle avoisinant les 350 000 tonnes (ONAGRI), la Tunisie figure parmi les trois plus grands producteurs de dattes au monde. Plus de 80 % de cette production est constituée de la variété «Deglet Nour», reconnue pour sa haute valeur commerciale. Le pays se classe également parmi les premiers exportateurs mondiaux de dattes fraîches et commence, ces dernières années, à se positionner sur le marché des dérivés de dattes, dont la demande est en croissance.

Les écarts de tri de la variété «Deglet Nour» au niveau des stations de conditionnement sont estimés à 30 %. Ces dattes, bien qu'écartées du circuit commercial classique, représentent une matière première intéressante pour la fabrication de produits à valeur nutritionnelle élevée, tels que le vinaigre, la poudre ou le sirop. À ces écarts s'ajoutent également les variétés communes, à plus faible valeur commerciale, qui offrent elles aussi des opportunités de valorisation.

En Tunisie, ces nouveaux produits commencent progressivement à s'intégrer dans les habitudes de consommation quotidiennes, soutenant ainsi une dynamique de diversification alimentaire et de valorisation des ressources locales.

Dans ce contexte, ce guide présente les bonnes pratiques de fabrication du vinaigre de dattes, élaboré à partir d'un processus de double fermentation.

Il est conçu pour accompagner les opérateurs de la filière dérivés de dattes dans la maîtrise :

- Des aspects réglementaires liés à cette activité ;
- Des bonnes pratiques d'hygiène applicables à la production du vinaigre de dattes ;
- Des critères de qualité attendus pour le vinaigre de dattes ;
- Des bonnes pratiques de production, depuis la matière première jusqu'au produit fini.

II. DEFINITION DU VINAIGRE

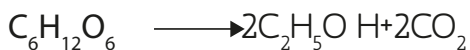
Selon la Norme Tunisienne NT 72.70 (1988), le vinaigre est défini comme un liquide destiné à la consommation humaine, élaboré exclusivement à partir de produits renfermant de l'amidon et/ou des sucres par le biais d'un procédé de double fermentation. Cette méthode implique initialement la fermentation alcoolique, suivie de la fermentation acétique. Le produit fini ainsi obtenu contient de l'acide acétique, identifiable par sa formule chimique CH_3COOH .

III. FABRICATION DU VINAIGRE : PRINCIPES ET PROCÉDÉS

III.1 Principe de fabrication du vinaigre

La production du vinaigre repose sur deux fermentations, impliquant successivement la fermentation alcoolique et la fermentation acétique. Au cours de la fermentation alcoolique, réalisée en anaérobiose (c'est-à-dire en absence d'oxygène), les sucres fermentescibles subissent une transformation par des levures. Cette réaction biochimique conduit à la conversion des sucres en éthanol (alcool) et en dioxyde de carbone (CO₂) (Bhat et al., 2014).

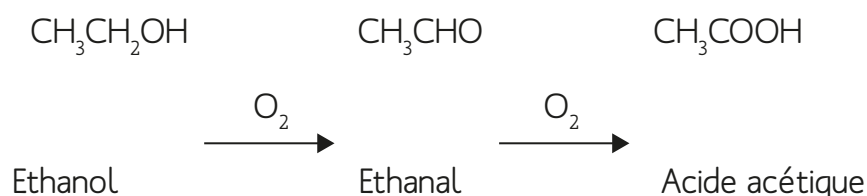
La formule est la suivante :



Glucose (sucre) \longrightarrow Ethanol

La fermentation acétique ou, plus correctement l'acétification, est la réaction biochimique qui permet la production de vinaigre par la transformation d'alcool en acide acétique. Contrairement à la fermentation alcoolique, l'acétification doit se faire en présence d'oxygène pour permettre la survie des bactéries acétiques comme *Acetobacter aceti*. Les bactéries acétiques oxydent l'alcool produit lors de la fermentation alcoolique pour le convertir en acide acétique, principal composé responsable de l'acidité du vinaigre (Bhat et al., 2014).

Le métabolisme de l'éthanol par ces micro-organismes responsables de la fermentation acétique obéit à la réaction globale suivante :



Ainsi, le vinaigre acquiert ses caractéristiques distinctives, combinant les arômes et les saveurs spécifiques du fruit avec les transformations chimiques successives qui se produisent pendant chaque fermentation (Bhat et al., 2014).

Les levures qui enclenchent la fermentation en quelques jours se trouvent à la surface des fruits. Pratiquement, pour amorcer le processus de fermentation alcoolique, il suffit de briser les membranes de protection biologique. Cette étape est accomplie par l'écrasement ou le broyage du fruit. Les levures naturellement présentes sont généralement suffisantes pour initier la fermentation en quelques jours. Il est également envisageable d'accélérer ce processus naturel en ajoutant des levures spécifiques. Cet ajout offre un contrôle plus précis du processus de fermentation, permettant ainsi une accélération du temps nécessaire à la production du vinaigre. Il contribue également à l'efficacité et à la reproductibilité du processus en assurant une qualité constante du vinaigre (Luzón-Quintana et al., 2021).

III.2 Procédés de fabrication du vinaigre

Les procédés de fabrication du vinaigre peuvent être catégorisés en deux principales approches : les méthodes artisanales ou encore traditionnelles et les méthodes industrielles, utilisant des procédés plus contrôlés (Bhat et al., 2014).

III.2.1. Procédé artisanal : procédé d'Orléans

La méthode artisanale, également appelée procédé lent ou procédé d'Orléans, incarne une technique de production authentique. Elle repose sur l'utilisation de fûts en bois, actuellement remplacés par des conteneurs en plastique, dans lesquels la fermentation acétique se déroule. Ces tonneaux créent un environnement favorable au développement de micro-organismes spécifiques, conférant ainsi au vinaigre ses caractéristiques organoleptiques (Bhat et al., 2014).

Cette méthode se distingue par un temps de fermentation prolongé. En adoptant cette méthode, les producteurs doivent accorder une attention rigoureuse à chaque étape de la transformation pour garantir la qualité du produit fini. De la sélection des matières premières à la gestion précise de la fermentation, chaque phase nécessite un savoir-faire et une vigilance particulière. Ce soin apporté tout au long du processus permet de préserver l'authenticité du produit, tout en assurant une qualité constante et respectueuse des traditions artisanales.

III.2.2. Procédés industriels

Lorsque de grandes quantités de vinaigre sont nécessaires, des systèmes de fermentation industriels doivent être utilisés pour produire des volumes pouvant être contrôlés de manière fiable. De nombreuses avancées techniques ont été développées pour améliorer la production industrielle du vinaigre, et en général, ces améliorations visent à accroître la vitesse de transformation de l'éthanol en acide acétique (Bhat et al., 2014). Dans les méthodes industrielles les plus modernes, des réacteurs de fermentation contrôlés ont été développés, offrant un environnement optimal pour les micro-organismes responsables de la fermentation. Ces réacteurs peuvent être équipés de dispositifs pour réguler la température, le pH et l'approvisionnement en oxygène, permettant un contrôle précis du processus (Bhat et al., 2014). Les levures (ferments) utilisés dans ces procédés sont sélectionnés pour améliorer l'efficacité de la fermentation, assurant une production rapide et constante de vinaigre. Les avancées dans la génétique microbienne continuent de jouer un rôle dans l'amélioration des souches pour une meilleure performance industrielle (Bhat et al., 2014). L'utilisation de ces méthodes industrielles permet non seulement une production à grande échelle, mais également une standardisation du produit fini en termes de qualité et de composition.

Il existe deux procédés utilisés pour la production industrielle du vinaigre :

- Procédé générateur
- Procédé submergé

Les différents procédés sont présentés plus en détail dans le chapitre V sur les bonnes pratiques de fabrication de vinaigre.

IV. LES BONNES PRATIQUES D'HYGIENE

Pour garantir la qualité du vinaigre conformément aux exigences réglementaires d'hygiène et de sécurité sanitaire des aliments, les professionnels doivent appliquer certains programmes préalables, également appelés « principes généraux d'hygiène alimentaire », « bonnes pratiques d'hygiène », « bonnes pratiques de fabrication ». Ces règles définissent les conditions nécessaires pour garantir la sécurité et la salubrité des denrées alimentaires, et instaurent un environnement propice à une production sans risque de contamination. En pratique, ils se déclinent selon la méthode des 5M :

- Le milieu
- La main d'œuvre
- La matière première
- Le matériel
- La méthode de travail

IV.1 Le milieu

La réglementation prévoit une série d'exigences concernant les locaux.

Organisation des locaux :

- Les zones de production et de stockage doivent être suffisamment spacieuses pour les activités à mener et doivent être séparées.

Prevention des contaminations croisées:

- Limiter l'accès à l'espace de production et de stockage.
- Séparer les différentes activités dans l'espace afin de dissocier la zone sale de la zone propre et de respecter la marche en avant. En cas de manque d'espace, cette séparation peut se faire dans le temps.

Protection des locaux et lutte contre les nuisibles :

- L'unité de production doit être à l'abri de l'humidité et doit disposer d'un programme de lutte contre les nuisibles (rongeurs, insectes et oiseaux) établi par une entreprise spécialisée dans le domaine.
- Parmi les mesures pratiques : installation de moustiquaires aux fenêtres, utilisation de dispositifs anti-insectes, comme des destructeurs à lampes UV, mise en place de pièges à rongeurs et/ou à insectes.

Qualité de l'eau :

- L'eau utilisée pendant le procédé de transformation, le lavage des denrées alimentaires ainsi que pendant le nettoyage des surfaces et matériaux qui entrent en contact avec les denrées alimentaires doit être de qualité potable.

Nettoyage et désinfection des locaux et du matériel

- Les locaux et le matériel doivent être nettoyés et désinfectés selon un plan de nettoyage et de désinfection adéquat (voir Annexe 2). Ce plan doit préciser :

- La liste du matériel et des locaux à nettoyer et à désinfecter ;
- La fréquence de nettoyage et de désinfection ;
- Les produits de nettoyage et de désinfection utilisés ;
- Les procédures de nettoyage et de désinfection utilisées (mode opératoire) ;
- Le responsable du nettoyage.

—— IV.2 La main d'œuvre

L'hygiène étant essentielle lors de la préparation de denrées alimentaires pour garantir leur sécurité sanitaire, Il est important pour le personnel de :

- Maintenir un niveau élevé de propreté personnelle (lavage des mains, ongles courts, pas de vernis, pas de bijoux, ...) ;
- Porter une tenue adéquate : chaussures réservées au local de transformation, coiffe sur les cheveux, des vêtements de protection propres et appropriés ;
- Être en bon état de santé pour éviter tout risque de transmission de maladies ;
- Être formé à l'hygiène alimentaire ;
- Respecter un comportement approprié : Il est interdit de fumer, de cracher, de boire et de manger.

—— IV.3 La matière première

La qualité de la matière première utilisée est un élément déterminant de la sécurité sanitaire du produit fini. Il est essentiel de s'assurer qu'elle est de bonne qualité, stockée à une température adéquate, et à l'abri de l'humidité. La matière première doit répondre aux exigences réglementaires relatives à la sécurité sanitaire. Toutes les opérations de manipulation doivent être réalisées de manière à limiter les risques de contamination, il s'agit par exemple de :

- Ne pas stocker les denrées directement au sol mais sur des palettes ou étagères appropriées ;
- Séparer les différentes activités de manipulation des denrées, pour éviter les contaminations croisées ;
- Utiliser des emballages et des contenants qui sont destinés à l'usage alimentaire ;
- Respecter les règles de stockage : « premier entré, premier sorti » afin d'assurer une rotation correcte des produits en utilisant toujours le produit ayant la date limite d'utilisation la plus proche ;
- Protéger les produits contre toute contamination croisée.

—— IV.4 Le matériel

L'unité de production du vinaigre de dattes doit être équipée de matériels adaptés à la capacité journalière de transformation. Le matériel en contact direct avec les produits doit être fabriqué en matière inoxydable et/ou en plastique alimentaire et doit répondre aux règles sanitaires. Un entretien et une désinfection réguliers doivent être réalisés afin d'éviter toute contamination du produit.

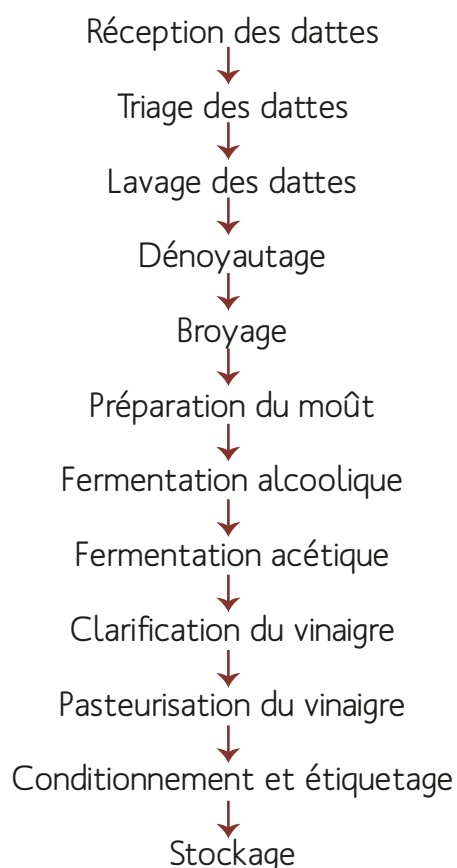
—— IV.5 La méthode

Il faut établir un diagramme de production pour chaque produit conformément aux bonnes pratiques et aux exigences réglementaires et normatives.

Ce diagramme doit décrire les différentes étapes du processus de transformation. Un diagramme clair et précis permet de maîtriser l'ensemble du processus, d'assurer une traçabilité complète et de garantir la sécurité et la qualité des denrées alimentaires. La méthode de production doit garantir que les produits ne contiennent pas de substances provenant de microorganismes en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.

V. LES BONNES PRATIQUES DE FABRICATION DE VINAIGRE DE DATTES

— V.1 Diagramme de fabrication



— V.2 Les étapes de production du vinaigre de dattes

Le choix de la matière première constitue une étape préalable cruciale. On peut utiliser toutes les variétés de dattes à condition qu'elles soient mures et saines, même si elles sont issues des écarts de triage. Le choix des variétés de dattes est orienté par leur disponibilité et leur abondance pour la fabrication du vinaigre de dattes (Ould El Hadj et al., 2001). Les principaux constituants des dattes dénoyautées des variétés tunisiennes Deglet Nour, Allig et Khouet Allig sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Principaux constituants des écarts de tri de dattes dénoyautées de Deglet Nour, Allig et khouet Allig (Pour 100 g de matière sèche) (Jraïdi, 1989) :

<i>PARAMÈTRES</i>	<i>VARIÉTÉS</i>	<i>Deglet Nour</i>	<i>Allig</i>	<i>Khouet Allig</i>
<i>Matière sèche (%)</i>		88	86,40	85,40
<i>Matière minérale (%MS)</i>		2,15	2,32	2,24
<i>Matière azotée totale (% MS)</i>		2,78	2,44	2,60
<i>Cellulose brute (%MS)</i>		2,67	2,30	3,66
<i>Matières grasses (% MS)</i>		1,80	2,01	0,91
<i>Sucres réducteurs (%MS)</i>		33,40	68,26	69,06
<i>Saccharose (%MS)</i>		42,75	11,85	6,88
<i>Sucres totaux (%MS)</i>		78,41	80,78	76,31

V.2.1. Réception des dattes

Le contrôle à la réception des dattes destinées à la production de vinaigre permet d'évaluer le taux d'infestation par les insectes, de vérifier le poids à la réception, d'identifier le producteur ainsi que le collecteur afin d'assurer la traçabilité de la matière première (voir annexe 3).

V.2.2. Triage des dattes :

Le triage est une étape indispensable pour éliminer :

- Les fruits fermentés : fruits dont les sucres ont été transformés en alcool et en acide acétique par l'action des levures ou/et des bactéries ; défaut perçu par un goût aigre caractéristique ;
- Les fruits infestés par les pyrales de dattes ;
- Les fruits immatures : fruits légers, rabougris ou de consistance nettement caoutchouteuse ;
- Les fruits non pollinisés : fruits qui n'ont pas été pollinisés et qui se présentent comme des fruits rabougris et immatures et dépourvus de noyau.



Figure 1. Triage des dattes

V.2.3. Lavage des dattes :

Les dattes doivent être lavées afin d'éliminer la poussière, le sable et les différentes souillures qui peuvent adhérer à la pulpe de la datte.



Figure 2. Lavage des dattes

V.2.4. Dénoyautage :

Le dénoyautage des dattes s'effectue manuellement ou à l'aide d'une dénoyauteuse qui permet la séparation entre la pulpe et le noyau tout en préservant le noyau intact.



Figure 3. Dénoyautage manuel



Figure 4. Dattes dénoyautées



Figure 5. Dénoyauteuse en inox

V.2.5. Broyage :

Les dattes dénoyautées ou encore les pulpes sont broyées en fines particules afin de faciliter l'étape de la diffusion des sucres dans l'eau.



Figure 6. Broyage par robot de coupe en inox



Figure 7. Broyage par dénoyauteuse en inox

V.2.6. Préparation du moût

V.2.6.1. Extraction du moût

Le "moût de datte" est une préparation à base de jus sucré de dattes, obtenue par macération de la pulpe broyée dans de l'eau chaude à 85 °C. Cette chauffe est généralement réalisée dans un cuiseur, un équipement permettant de porter l'eau et la pulpe à la température souhaitée afin d'extraire les sucres.

Le moût est destiné à être utilisé dans les processus de fermentation pour fabriquer du vinaigre de dattes. C'est une substance liquide riche en sucres et en nutriments, qui sert de milieu de culture pour les levures et les bactéries impliquées dans la transformation du sucre en alcool puis en acide acétique.



Figure 8. Cuiseur à vapeur en inox



Figure 9. Cuiseur électrique basculante en inox

V.2.6.2. Filtration du moût

Une fois la macération terminée, le mélange est filtré : on récupère alors le moût, une substance liquide riche en sucres et en nutriments. Cette étape permet de séparer la phase liquide de la phase solide afin d'obtenir un moût clair et filtré.



Figure 10. Séparateur de moût en inox



Figure 11. Moût clair

V.2.6.3. Dilution du moût à l'eau

Il s'agit d'une opération consistant à ajouter de l'eau au moût afin d'ajuster sa concentration en sucres et d'obtenir un degré Brix optimal, généralement compris entre 10 et 18 %, favorisant le développement des levures et la production d'éthanol.

V.2.6.4. Stérilisation du moût

La stérilisation permet d'améliorer la performance de la fermentation en éliminant les micro-organismes indésirables présents dans le moût. Un traitement à environ 110 °C pendant 25 minutes assure une réduction efficace de la charge microbienne.

V.2.6.5. Préparation de l'inoculum

La préparation de l'inoculum consiste à activer et multiplier les souches microbiennes destinées à être utilisées lors de la fermentation. Cette étape n'est pas une simple phase préliminaire : elle est déterminante pour la réussite du processus fermentaire dans son ensemble.

L'inoculum est obtenu par l'ensemencement du moût de dattes stérilisé avec *Saccharomyces cerevisiae*, d'abord dans un volume de 250 ml, puis dans des volumes progressivement plus importants (3 litres, puis 20-25 litres), jusqu'à atteindre une quantité représentant 2 à 4 % du volume total du moût à fermenter.

V.2.7. Fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique du moût de dattes est la première étape de la fabrication du vinaigre. Les sucres présents dans le mout sont transformés en éthanol en présence de levures (voir annexe 4).

V.2.7.1. Fermentation alcoolique selon le procédé artisanal

Le procédé artisanal nécessite un fermenteur adapté, qui ne doit être rempli qu'à 70 % de sa capacité afin d'éviter toute surpression. Par exemple, pour un fût de 50 litres, il convient d'y ajouter environ 35 litres de moût (Solieri et Giudici, 2009).

Le fermenteur doit être installé dans un endroit, où la température est contrôlée et stable, et il ne doit pas être déplacé durant le processus. La fermentation alcoolique peut se dérouler naturellement, sans ajout de levures, grâce à l'action de la flore indigène. Toutefois, la réussite de cette fermentation spontanée exige une maîtrise rigoureuse du processus, notamment en ce qui concerne l'hygiène du matériel et de l'environnement de travail.

Il est indispensable de maintenir une température constante entre 25 et 30 °C pour assurer une fermentation efficace. Divers types de thermomètres peuvent être utilisés pour ce contrôle. Cette plage de température optimise la croissance des levures et la conversion des sucres en alcool. Au-delà de 30 °C, l'activité des levures diminue de façon significative, ce qui freine la production d'alcool (Solieri et Giudici, 2009).

V.2.7.2. Fermentation alcoolique selon le procédé industriel

Le procédé industriel de fermentation alcoolique, qu'il s'agisse du procédé générateur ou du procédé submergé, nécessite l'utilisation d'un fermenteur adapté permettant un contrôle précis des paramètres de fermentation. Lorsque le fermenteur est pré-rempli avec une première fraction de moût correspondant à 1/8 à 1/4 de son volume total, l'inoculum est ajouté à un taux de 2 à 4 % du volume total de moût prévu pour la fermentation. Cette étape permet d'assurer une bonne adaptation des levures avant le remplissage progressif du reste du fermenteur. En règle générale, le remplissage du fermenteur ne doit pas dépasser 2/3 de sa capacité, afin d'assurer de bonnes conditions de fermentation. Après fermeture hermétique du fermenteur, garantissant un environnement anaérobie (sans oxygène), la température est ajustée à 25 °C. Une agitation continue est maintenue afin de favoriser l'activité métabolique des levures et d'assurer une fermentation uniforme et efficace.

V.2.7.3. Les souches de levures

Les souches de levures utilisées pour la fermentation alcoolique appartiennent essentiellement au genre *Saccharomyces* et pour la plupart à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* (Maicas, 2020). Elles sont caractérisées par leur capacité à fermenter une quantité importante de sucre (200 g/ l) avec des fins de fermentation dans des milieux riches en alcool (10 à 13%) (Duteurtre, 1989). Les souches utilisées doivent répondre à un certain nombre de critères (Bouix et Leveau, 1993) :

- Bon rendement en éthanol ;
- Tolérance à l'éthanol ;

- Adaptation à des températures externes (basses ou élevées) ;
- Exigences faibles en éléments nutritionnels.

V.2.8. Fermentation acétique :

L'opération d'acétification consiste à ajouter des bactéries acétiques au moût fermenté issu de la fermentation alcoolique. Après quelques jours, un voile se forme à la surface du mélange : c'est la « mère de vinaigre », signe de l'activité des bactéries. Une mère de vinaigre ressemble à une pellicule gélatineuse qui prend la couleur du liquide dans lequel elle se trouve. L'acétification est considérée comme complète lorsque la teneur en acide acétique dépasse 4 g/100 ml (voir Annexe 5).

Pour assurer une acétification efficace, il est essentiel de maintenir la température aussi stable que possible, idéalement autour de 30 °C. Il est également important de maximiser la surface de contact entre le liquide et l'air, l'oxygène étant indispensable au métabolisme des bactéries acétiques.

La transformation alcool-acide n'a lieu que si certaines conditions physico-chimiques sont respectées (Bernard et al., 1995) :

- Température comprise entre 15 °C et 30 °C ;
- Degré d'alcool initial compris entre 6° et 9° ;
- Présence de dioxygène ;
- Éléments nutritifs de la bactérie (matières contenant de l'azote, du carbone et des phosphates alcalino-terreux, par exemple le phosphate de potassium, le magnésie, l'ammoniac...).



Figure 12. Mère du vinaigre en cours de fermentation



Figure 13. Mère du vinaigre collectée

Les bactéries acétiques, responsables de la fermentation acétique sont les espèces d'Acétobacter et les espèces de Gluconobacter. Elles sont classées dans la famille des Pseudomonadacées.

Les souches de bactéries acétiques destinées à être utilisées dans la production industrielle doivent :

- Tolérer des concentrations élevées d'acide acétique ;
- Nécessiter de petites quantités de nutriments ;

- Ne pas suroxyder l'acide acétique formé ;
- Avoir un rendement élevé en termes d'acide acétique produit.

V.2.8.1. Les bactéries acétiques

Les bactéries acétiques, responsables de la fermentation acétique sont les espèces d'Acétobacter et les espèces de Gluconobacter. Elles sont classées dans la famille des Pseudomonadacées.

Les souches de bactéries acétiques destinées à être utilisées dans la production industrielle doivent :

- Tolérer des concentrations élevées d'acide acétique ;
- Nécessiter de petites quantités de nutriments ;
- Ne pas suroxyder l'acide acétique formé ;
- Avoir un rendement élevé en termes d'acide acétique produit.

V.2.8.2. Fermentation acétique selon le procédé artisanal

Dans le procédé artisanal ou d'Orléans, le mout de dattes fermenté (alcool) est placé dans le vinaigrier, où elle reste en contact avec l'air. Sous l'action des bactéries acétiques, présentes naturellement dans l'air, sur les parois ou dans le liquide, la "mère de vinaigre" se forme spontanément à la surface. Cette mère peut également être ajoutée à partir d'un vinaigre précédent afin d'accélérer et stabiliser le processus. La mère joue un rôle régulateur : elle augmente légèrement la viscosité du liquide et permet une fermentation lente et progressive (Bhat et al., 2014). Le vinaigre est ensuite soutiré par le bas du tonneau avec soin afin de conserver le voile microbien en surface. Le processus dure généralement de 1 à 3 mois et nécessite une température comprise entre 20 et 30°C (Bhat et al., 2014).

V.2.8.3. Fermentation acétique selon le procédé générateur

Également connu sous le nom de procédé allemand ou procédé Schützenbach, le procédé générateur constitue une méthode plus récente et plus industrialisée que le procédé traditionnel d'Orléans. Comme son nom l'indique, ce procédé repose sur un générateur, une cuve cylindrique spécialement conçue pour accélérer la production de vinaigre grâce à un contrôle précis de l'aération, de la température, du pH et de l'activité des bactéries acétiques.

Dans ce système, le liquide alcoolisé destiné à être transformé en acide acétique s'écoule en continu à travers un lit de copeaux de hêtre placés à l'intérieur du réacteur. Simultanément, un flux d'air circule en contre-courant, créant des conditions optimales pour la fermentation. Les copeaux de hêtre, appréciés pour leur grande porosité, offrent une large surface d'adhésion permettant aux bactéries acétiques de se développer efficacement. La circulation du moût accélère leur activité. Le liquide en cours d'acétification est recyclé jusqu'à l'épuisement de l'éthanol.

La fermentation se déroule à une température contrôlée entre 25 °C et 30 °C, et le réacteur est généralement équipé de serpentins de refroidissement pour éviter toute surchauffe (Bhat et al., 2014).

Bien que le bois de hêtre reste le matériau de référence, certains substituts comme les tiges de houblon ou les joncs peuvent être utilisés. Ces matériaux alternatifs sont moins chers, mais également moins performants que le bois de hêtre.

V.2.8.4. Fermentation acétique selon le procédé submergé

Le procédé submergé constitue la méthode la plus moderne de production du vinaigre, car il permet d'optimiser les paramètres clés de la fermentation, notamment l'aération, l'agitation et la régulation thermique. En raison de la lenteur et du coût du procédé générateur, les fermenteurs à culture immergée se sont imposés à l'échelle industrielle.

Ce procédé repose sur l'utilisation d'un fermenteur équipé d'un système d'aération forcée et d'un dispositif de refroidissement permettant de maintenir la température entre 24 et 29 °C. L'air, aspiré par une turbine munie d'un débitmètre, est finement dispersé dans le milieu grâce à un rotor installé au bas de la cuve, ce qui assure un mélange homogène et un transfert efficace de l'oxygène.

Dans ces conditions, les bactéries acétiques restent en suspension dans tout le volume du fermenteur - contrairement aux méthodes traditionnelles où elles adhèrent à un support - ce qui accélère considérablement l'acétification (Bhat et al., 2014). Un échangeur thermique intégré maintient la température optimale tout au long du processus.

L'un des principaux atouts du procédé submergé est la rapidité de la fermentation, rendue possible par l'oxygénation fine et continue du milieu. Cette efficacité se traduit par un meilleur contrôle de la qualité du vinaigre et par des rendements plus élevés (Bhat et al., 2014).

Les fermenteurs, généralement en acier inoxydable, existent en plusieurs volumes et peuvent fonctionner en mode discontinu, semi-continu ou continu. Le système semi-continu, le plus courant, implique une phase d'inoculation initiale ; une fois l'acétification aboutie, 40 à 50 % du volume est soutiré tandis que le reste sert d'inoculum pour le cycle suivant. Ce mode réduit la phase de latence des bactéries, ce qui accélère la production et améliore l'efficacité globale (Bhat et al., 2014).

V.2.9. Clarification :

La clarification consiste à filtrer le vinaigre afin de lui conférer une apparence limpide et brillante. Dans les procédés industriels, une première étape de filtration est généralement effectuée à l'aide de filtres à flux tangentiel, suivie d'une clarification plus poussée grâce à des filtres tangentiels en céramique, qui permettent d'optimiser la finesse de filtration. Des systèmes de filtration centrifuge peuvent également être utilisés selon les besoins.

Dans les méthodes artisanales, la clarification s'effectue plus simplement par décantation, suivie d'une récupération du vinaigre clair à travers une gaze, ce qui permet d'améliorer la filtration tout en conservant un procédé traditionnel.



Figure 14. Filtre centrifuge

V.2.10. Pasteurisation :

Si l'on porte le moût fermenté destiné à la fabrication du vinaigre, ou le vinaigre après son élaboration, à une température de 55 °C, les anguillules - de petits nématodes susceptibles de se développer dans les milieux fermentés - sont détruites, tandis que les bactéries acétiques sont inhibées. Le vinaigre devient ainsi inaltérable. Il est remarquable que ce traitement thermique n'entraîne aucune modification perceptible du goût du produit (Bernard et al., 1995).

Il existe plusieurs méthodes de pasteurisation :

- Pasteurisation en cuve : le vinaigre est chauffé à une température de 60 à 65 °C pendant une demi-heure, puis refroidi à 32 à 37 °C avant d'être mis en bouteilles et fermé.
- Pasteurisation rapide et continue : le vinaigre est chauffé, puis mis en bouteilles à une température de 65 à 71 °C.
- Pasteurisation en bouteilles : le vinaigre est d'abord conditionné en bouteilles, puis chauffé de 65 à 71 °C pendant une durée suffisante pour permettre à la chaleur d'atteindre le centre des bouteilles. Les bouteilles sont ensuite fermées et refroidies.

V.2.11. Emballage et étiquetage :

Le type prédominant d'emballage de vinaigre est constitué de bouteilles en verre et en plastique, qui peuvent être fermés avec un couvercle à vis, un bouchon ou un bouchon en liège. Le vinaigre ne doit pas occuper moins de 90% v/v de la capacité en eau du récipient. L'étiquetage doit être conforme à la réglementation en vigueur relative à l'étiquetage et la présentation des denrées alimentaires préemballées. Il doit comporter notamment les indications suivantes :

- Nom du produit ;
- Liste des ingrédients ;
- Contenu net ;
- Date de fabrication ;
- Nom et adresse du fabricant ;
- Pays d'origine ;
- Teneur en acide total en gramme par 100ml exprimée en acide acétique.

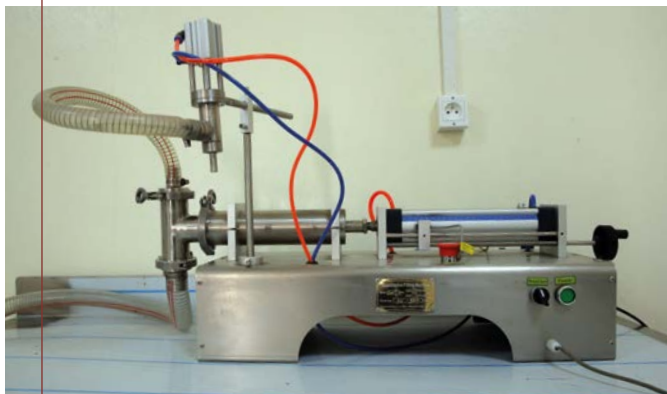


Figure 15. Doseuse volumétrique

V.2.12. Stockage du vinaigre :

Le stockage du vinaigre doit se faire dans un endroit sec, frais et à l'abri de la lumière.

VI. CRITÈRES DE QUALITÉ DU VINAIGRE

Le vinaigre de dattes doit présenter les caractéristiques suivantes (NT 72.70 (1988)) :

- Teneur en acide acétique supérieure à 4g/ 100 ml ;
- Alcool résiduel au maximum 0,5% v/v ;
- Extrait sec soluble doit être au maximum de 2,0 grammes par 100ml ;
- Taux de cendre inférieur à 0,5g/ 100ml ;
- Ne doit pas contenir de microorganismes capables de se développer dans les conditions normales d'entreposage en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé ;
- Ne doit pas contenir d'anguillules ni de quantités notables d'autre matière en suspension et de dépôts, et doit être exempt de toute turbidité provoquée par des microorganismes (mère du vinaigre).

VII. TEXTES RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

Pour maîtriser les dangers et garantir le caractère propre à la consommation humaine du vinaigre de dattes à toutes les étapes de la chaîne alimentaire, il est impératif de se conformer aux textes réglementaires en vigueur mentionnés en annexe 1.

VIII. CONCLUSION

La production de vinaigre à partir des dattes constitue une voie de valorisation particulièrement pertinente pour les écarts de tri, dont la faible valeur marchande contraste avec leur richesse en sucres fermentescibles. En exploitant cette ressource abondante, il devient possible non seulement de réduire les pertes post-récolte, mais aussi de diversifier l'offre agroalimentaire à travers un produit naturel, traditionnel et de plus en plus apprécié par les consommateurs.

Au-delà de son intérêt économique, cette transformation s'inscrit dans une démarche durable qui favorise l'optimisation des ressources locales et la création de valeur ajoutée. Elle offre également des perspectives intéressantes pour les petites unités de production

et les initiatives artisanales souhaitant se positionner sur des marchés de niche, sensibles à la qualité et à l'authenticité.

Ainsi, le guide se veut un outil pratique permettant de maîtriser l'ensemble des étapes du procédé, depuis la préparation du substrat jusqu'à l'obtention d'un vinaigre stabilisé et conforme aux exigences nutritionnelles et microbiologiques. En assurant une bonne compréhension des mécanismes fermentaires et des conditions de contrôle, il contribue à garantir un produit final sûr, constant et compétitif.

IX. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bhat, S.V., Akhtar, R., Amin, T., 2014. An Overview on the Biological Production of Vinegar. *Int. J. Fermented Foods* 3, 139
- Bernard M., Dubusc M., Lleras J. et Tuech J., 1995. Vinaigre. *Bulletin de l'union des physiciens*, N° 773, Vol. 89 - Avril 1995. 713- 727.
- Bouix M et Leveau J-Y, 1993. Microbiologie industrielle, les microorganismes d'intérêt industriel. Edition Lavoisier. Tec et Doc, Paris. 85- 92
- Duteurtre B., 1989. La vinification In : Microbiologie alimentaire. Tome 2 : Les fermentations alimentaires. Editeurs : Bourgeois CM et Larpent JP. Edition Lavoisier. Tec et Doc, Paris. 83-101.
- Guiraud JP, 1998. Microbiologie alimentaire. Edition Dunod. Paris. 26-506.
- Jraidi Z., 1989. Principaux constituants et valeur énergétique des dattes. *Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie*. 62. Note de recherche n°2. INRAT. 4-9.
- Luzón-Quintana et al., 2021. L.M. Luzón-Quintana, R. Castro, E. Durán-Guerrero. Biotechnological processes in fruit vinegar production. *Foods*.
- N.T 72.70 (1988). Norme tunisienne relative aux spécifications du vinaigre.
- Ould El Hadj M.D., Sebihi A.H. et Siboukeur O. 2001. Qualité Hygienne et Caractéristiques Physico-Chimiques du Vinaigre Traditionnel de Quelques Variétés de Dattes de la Cuvette de Ouargla. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation - Biomasse*, 87-92 87.
- Sergi Maicas, 2020. The Role of Yeasts in Fermentation Processes. *Microorganisms* 2020, 8, 1142; doi:10.3390/microorganisms8081142. 8p
- Solieri, L. and Giudici, P. (2009) Vinegars of the World. In: Solieri, L. and Giudici, P., Eds., *Vinegars of the World*, Springer, Milan, 17-39.

ANNEXE 1 : Les textes réglementaires

- Loi n° 2019-25 du 26 février 2019, relative à la sécurité sanitaire des denrées alimentaires et des aliments pour animaux.
- Décret no 2003-1718 du 11/08/2003, relatif à la fixation des critères généraux de la fabrication, de l'utilisation et de la commercialisation des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires.
- Décret n°68-228 du 12 juillet 1968, relatif aux règles d'hygiène et de sécurité applicables au personnel, locaux et matériel des usines de conserves alimentaires.
- Décret n°68-328 du 22 octobre 1968, fixant les règles générales d'hygiène applicables dans les entreprises soumises au code du travail.
- Décret no 2003-1718 du 11/08/2003, relatif à la fixation des critères généraux de la fabrication, de l'utilisation et de la commercialisation des matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires.
- Arrêté du ministre de la santé publique du 25 octobre 1997 approuvant le cahier des charges fixant les conditions sanitaires pour l'utilisation des eaux de puits dans le domaine industriel, commercial et des services approuvés.
- Arrêté du 03/09/2008, relatif à l'étiquetage et la présentation des denrées alimentaires préemballées.
- Arrêté du 15/09/2005, relatif aux matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires.
- Arrêté du 13/05/2013, fixant la liste des limites maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et les méthodes de prélèvement d'échantillons et d'analyse pour le contrôle officiel.
- N.T 72.70 (1988). Norme tunisienne relative aux spécifications du vinaigre.
- N.T 46.01 (2002). Norme tunisienne relative aux principes généraux d'hygiène alimentaire.

Plan de nettoyage et de désinfection

Heure :
Nom de la pièce :

Revêtement (indiquer la nature)	Mode d'élimination des souillures	Mode d'application des produits et température	Nettoyage			Désinfection				Nom de l'opérateur
			Produit	Dose	Fréquence	Produit	N° d'homologation	Dose et temps d'action	Fréquence	

Commentaires :

Nom du responsable de contrôle

Signature

ANNEXE 3 : Exemple d'une fiche de contrôle et d'identification des lots de dattes à la réception

Fiche de contrôle et d'identification des lots de dattes à la réception

Date :

Heure :

Nom du producteur	
Nom de la parcelle	
Nom du collecteur	
Identification des dattes (N° de lot)	
Variété	
Poids de dattes à la réception	
État des véhicules de transport	
État des caisses	

Nom du responsable contrôle qualité

Signature

ANNEXE 4 : Exemple d'une fiche de suivi de la fermentation alcoolique

Fiche de suivi de la fermentation alcoolique

Dénomination de l'entreprise :

Date :

Identification de la cuve de fermentation :

Temps (h)	1	2	4	8	T _n
Température de la fermentation						
°Brix						
Taux d'alcool (%)						

Nom du responsable

Signature

ANNEXE 5 : Exemple d'une fiche de suivi de la fermentation acétique

Fiche de suivi de la fermentation acétique

Dénomination de l'entreprise :

Date :

Identification de la cuve de fermentation :

Temps (h)	1	2	4	8	T _n
Température de la fermentation						
Taux d'alcool (%)						
Taux d'acide acétique (g/100g)						

Nom du responsable

Signature

GUIDE

*DE BONNES PRATIQUES
DE PRODUCTION
DU VINAIGRE DE DATTES*

