

CULTURE DU NOYER  
POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE  
DES ZONES DE MONTAGNE

ABDELLAH KAJJI

INSTITUT NATIONAL  
DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE



Numéro dépôt légal : 2018MO5865

ISBN : ISBN : 978-9920-9814-0-8

INRA-Edition 2020

Conception et réalisation : HTL Consulting

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, ni traduite, ni mise en mémoire dans un système de recherche bibliographique, ni transmise sous quelques formes ou procédés que ce soit électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable écrite de l'auteur. Adresser une démarche motivée à l'auteur via le Chef de la Division de l'Information et de la Communication, INRA.






## PRÉFACE

**LE** développement des zones de montagne passe notamment par la diversification des espèces fruitières adaptées aux conditions climatiques des régions montagneuses. Le noyer est l'une des espèces pouvant valoriser les zones de montagne car il permet de générer une plus-value pour les agriculteurs. Son fruit non périssable peut être stocké toute l'année constituant ainsi aux agriculteurs une trésorerie non négligeable. La composition nutritive de la noix en fait un aliment à privilégier dans de nombreux régimes. Des études actuelles confortent l'usage thérapeutique ancestral des différentes parties de la plante.

Cet ouvrage traitant du noyer et de sa culture est l'aboutissement d'une longue expérience de terrain et la capitalisation de plusieurs travaux de recherche ou de développement entamés en France et poursuivis au Maroc. Ces travaux apportent une connaissance du fonctionnement de la plante et contribuent à la promotion et la conservation des ressources phytogénétiques au Maroc.

La première partie de l'ouvrage fait le point sur la conduite technique du noyer au Maroc ainsi que sur la possibilité de valoriser la production de la principale zone nucicole du Maroc par une Indication Géographique Protégée (IGP). En effet, la mise en place d'une IGP présente des bénéfices importants pour les producteurs et les consommateurs.



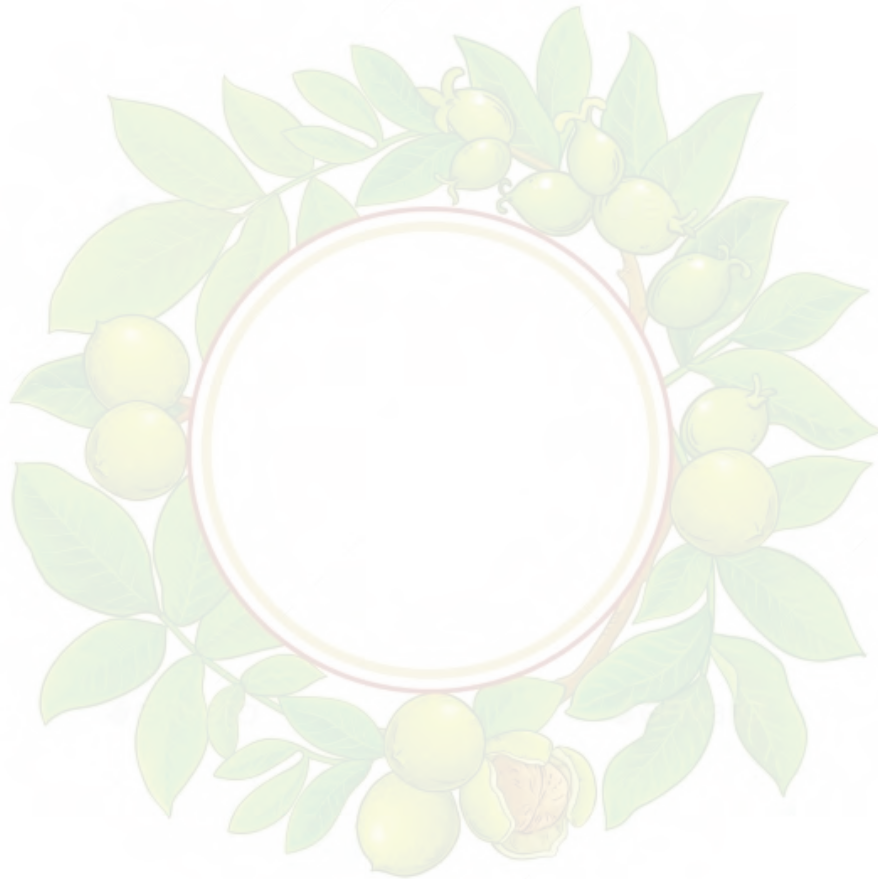
Dans une deuxième partie sont récapitulées les activités de recherche. Les recherches couvrant différents champs disciplinaires de la physiologie (i) La physiologie de la nutrition, pour laquelle l'utilisation de marqueurs radioactifs a permis de suivre l'assimilation du carbone tant dans son devenir géographique que dans son devenir chimique ; (ii) l'éco-physiologie, et notamment la circulation hydraulique dans la plante en lien avec une adaptation à différents sous-climats ; (iii) l'élaboration d'un panorama des ressources génétiques au Maroc et la caractérisation de son originalité.

Ce document constituera, certainement, une référence pour les scientifiques, les chercheurs, les étudiants... par la présentation de travaux originaux effectués sur cette espèce, en particulier sur le métabolisme carboné. De plus, il permet d'établir une première base de données sur la diversité marocaine de cette espèce dans l'espoir de permettre à un améliorateur de rechercher des caractéristiques intéressantes de cultivars de noyers adaptés à certaines régions du Maroc.

Cet ouvrage s'adresse également aux vulgarisateurs, aux développeurs et aux producteurs : bien que cet ouvrage ne prétende pas faire le tour complet des connaissances de cette espèce, le lecteur y trouvera des informations utiles au développement actuel de cette culture afin qu'elle s'organise en filière et qu'elle joue son rôle de levier de développement de notre agriculture de montagne.

C'est dans cet esprit que s'inscrit cette modeste contribution, en espérant pouvoir inciter les professionnels et les pouvoirs publics à reconnaître la filière noyer en tant que filière à part entière.

**DR FAOUZI BEKKAOUI**  
DIRECTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL  
DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE





## REMERCIEMENTS

**MES** vifs remerciements vont tout d'abord au Dr Faouzi BEKKAOUI, Directeur de l'INRA, pour avoir accepté de préfacier ce livre ainsi que pour les encouragements qu'il ne cesse de prodiguer aux chercheurs pour persévérer et publier leurs travaux.

Je tiens également à remercier vive ment le personnel du laboratoire de physiologie intégrée de l'arbre fruitier et forestier à Clermont-Ferrand et l'ensemble des membres du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès. Toute ma gratitude va à ma grande famille de l'INRA : chercheurs, gestionnaires, cadres administratifs, techniciens et personnel d'appui.

Le présent document a été enrichi par les lectures critiques des collègues de la Division Scientifique, et tout particulièrement Dr Mohamed Sbaghi et de la Division de l'Information et de la Communication, qu'ils en soient remerciés.

Que Messieurs Otman Sebbata et Reddad Tirazi trouvent ici mes sincères remerciements pour leur appui sans réserve durant tout le processus d'édition de cet ouvrage.

Mes dédicaces de cet ouvrage vont enfin à mon épouse et mes trois enfants Myriam, Saïd et Adam.

# SOMMAIRE

Préambule

## GÉNÉRALITÉS SUR LA CULTURE DU NOYER

Production mondiale des noix	19
Qualité nutritionnelle de la noix et usages thérapeutiques du noyer	21
Composition	21
Valeur nutritionnelle de la noix	21
Usages thérapeutiques de la noix	23
Biologie et physiologie florale du noyer	25
Fleurs	25
Dichogamie et allogamie	25
Types de fructification	27
Fruits	28
Pollinisation	29
Etablissement d'un verger de noyer	29
Densité de plantation	29
Disposition des pollinisateurs par rapport au vent	30
Choix du matériel végétal : variété et porte-greffe	30
Choix du porte-greffe	30
Exigences écologiques du noyer	31
Sol	31
Température	32
Eau	33
Conduite technique	35
Taille de formation en gobelet classique	35
Taille d'entretien	37
Fertilisation	38
Protection phytosanitaire	41
Récolte, conservation et séchage	51
Récolte	51
Séchage	52
Conditions de stockage et de conservation pour maintenir la qualité	52
Commercialisation	53
Mise en place d'un SDOQ et définition des terroirs concernés	57



## ASSIMILATION, TRANSLOCATION ET UTILISATION DES ASSIMILATS

Etude des échanges gazeux et élaboration d'un bilan de carbone	61
Etablissement d'un bilan de carbone	62
Séquestration du dioxyde de carbone	66
Translocation des assimilats à court terme	67
Répartition spatiale et biochimique des photosynthétats après 5 jours	68
Répartition biochimique du carbone exporté au niveau de la plante entière	69
Devenir des réserves à long terme	72
Dynamique hivernale de l'amidon et des sucres solubles	73
Remobilisation des réserves	74
Période de reconstitution des réserves en amidon selon les organes	75

## ETUDE COMPARATIVE DU FONCTIONNEMENT CARBONÉ DES DIFFÉRENTS TYPES DE RACINES

Localisation racinaire de la radioactivité retrouvée	79
Utilisation du carbone par les différents types de racines	80
Importance des différents organes pour la constitution de réserves hivernales	82
Mise en réserve de l'amidon	83
Evolution saisonnière de l'origine et de la part des assimilats destinés aux racines	84

## DIVERSITÉ DU GERMOPLASME DU NOYER AU MAROC

Caractérisation du germoplasme introduit	89
Diversité du germoplasme prospecté	93
Réalisation de prospections	93
Etude de la diversité physiologique par utilisation des courbes de vulnérabilité à la cavitation pour la sélection de noyers résistants à la sécheresse	95
Possibilité d'utilisation du germoplasme local dans un programme de sélection	102
Diversité génétique des principales populations de noyers prospectés et de variétés introduites à l'aide des marqueurs moléculaires ISSR	103
CONCLUSION GÉNÉRALE	109



## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1.1. Production mondiale de noix non décortiquées en 2018.
- Tableau 1.2. Composition des cerneaux de noix séchés.
- Tableau 1.3. Origine, pollinisateurs et caractéristiques de quelques variétés de noyer.
- Tableau 1.4. Eléments d'amélioration techniques pour améliorer l'installation du noyer.
- Tableau 1.5. Besoin en froid de quelques variétés de noyer et nombre d'heures de température inférieure à 7°C dans différentes localités.
- Tableau 1.6. Planning de fertilisation azotée de la 1<sup>ère</sup> à la 4<sup>ème</sup> année après plantation et doses conseillées en sol pourvu en éléments fertilisants.
- Tableau 1.7. Fertilisation azotée d'une noyeraie adulte selon la vigueur et la production des arbres (en kg d'azote/ha).
- Tableau 1.8. Contrôles visuels des maladies et ravageurs.
- Tableau 1.9. Principaux traitements phytosanitaires.
- Tableau 2.1. Bilan de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sur une saison de végétation.
- Tableau 3.1. Radioactivité incorporée dans les quatre fractions pour le pivot et le chevelu racinaire 5 jours après marquage en août et en octobre (en µCi).
- Tableau 3.2. Répartition de l'amidon à la chute des feuilles.
- Tableau 4.1. Dates d'apparition des stades phénologiques de la période 1996-2008 des cinq variétés bulgares introduites au Maroc et comparaison avec le comportement de deux variétés en Bulgarie.
- Tableau 4.2. Comparaison du poids de la noix entière et du cerneau pour les variétés cultivées à Ain Taoujdate et en Bulgarie.
- Tableau 4.3. Nombre de vaisseaux au m<sup>2</sup> des noyers de différents sites de prospection.
- Tableau 4.4. Classement des différents types de noyers par ordre de conductivité théorique croissante.
- Tableau 4.5. Potentiels hydriques xylémiens en MPA correspondants à des pertes de conductivité (PCH) de 20, 50 et 80% selon les types de noyers.
- Tableau 4.6. Données pluviométriques des lieux de prospection et classement des différents types de noyers par ordre de vulnérabilité à l'embolie décroissante.
- Tableau 4.7. Provenance des noyers prospectés dans le Haut et Moyen Atlas.

## LISTE DES PHOTOS

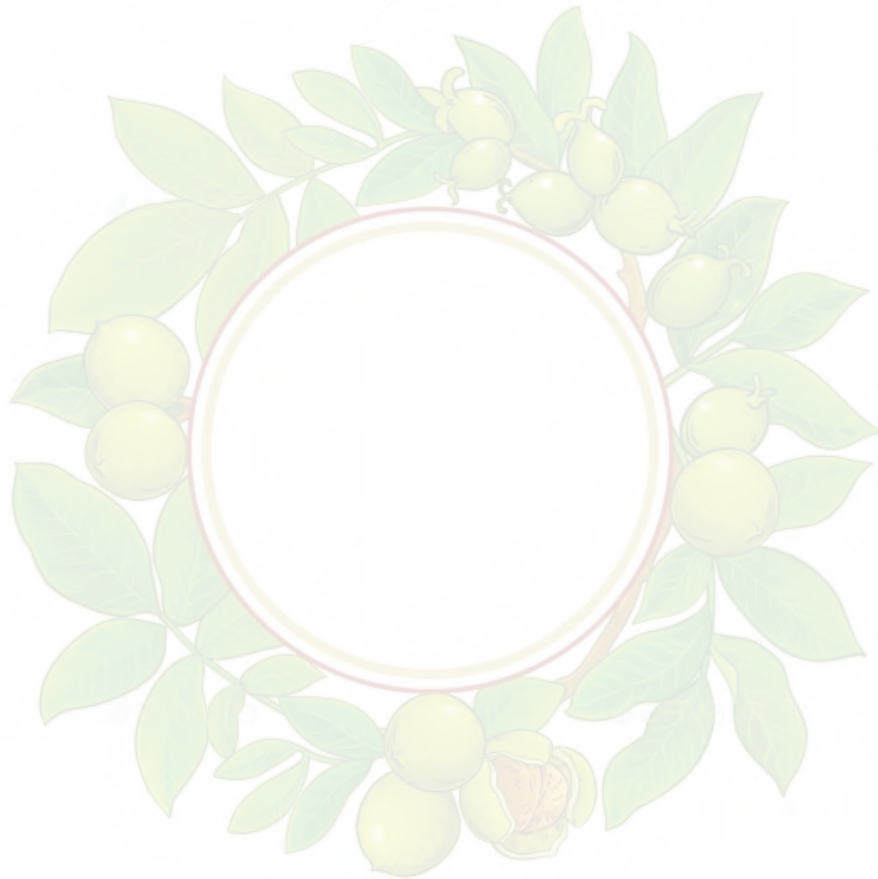
- Photo 1. Noyers dans les vallées encaissées du Haut Atlas.
- Photo 2. Floraison mâle et femelle du noyer.
- Photo 3. Débourrement et développement des chatons mâles avec protandrie.
- Photo 4. Début de maturité de la noix.
- Photo 5. Collection de noyers d'origine bulgare conduite en gobelet à la station expérimentale d'Ain Taoujdate.
- Photo 6. Bactériose sur feuille.

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1.1. Evolution de la production de noix au Maroc.  
Figure 1.2. Effets d'un manque d'eau selon le stade de développement du noyer.  
Figure 1.3. Taille de formation en gobelet classique.  
Figure 1.4. Noyer à fructification terminale à l'âge adulte, avant et après la taille d'entretien.  
Figure 1.5. Circuit de commercialisation des noix (province du Haouz).  
Figure 1.6. Délimitation cartographique des terroirs du noyer dans la province du Haouz.  
Figure 2.1. Evolution de l'assimilation nette journalière en fonction du temps.  
Figure 2.2. Variation du rayonnement global journalier en fonction du temps.  
Figure 2.3. Cumul des échanges gazeux aériens et racinaires depuis le débourrement jusqu'à la chute des feuilles (les jours sont comptés à partir du 1er janvier).  
Figure 2.4. Evolution de la radioactivité spécifique du CO<sub>2</sub> émis par le compartiment racinaire après marquage radioactif en août du CO<sub>2</sub> assimilé par les parties aériennes.  
Figure 2.5. Flux journalier des assimilats récents vers différentes fonctions (respiration et incorporation dans différentes fractions biochimiques) et organes, à deux dates différentes.  
Figure 2.6. Autoradiographie d'une coupe transversale du pivot montrant l'utilisation partielle des réserves au début des cernes (n+1) et (n+2) après marquage d'août (n).  
Figure 3.1: Radioactivité incorporée dans les quatre fractions dans le chevelu racinaire 5 jours après marquage en août et en octobre.  
Figure 3.2: Radioactivité incorporée dans les quatre fractions dans le pivot 5 jours après marquage en août et en octobre.  
Figure 3.3. Répartition de l'amidon dans les différents organes à la chute des feuilles.  
Figure 3.4. Teneur comparée en amidon des différents organes.  
Figure 4.1. Masse des noix entières et des cerneaux des variétés bulgares de noyers.  
Figure 4.2. Rendement au cassage des différentes variétés de noyer (moyenne de 3 années).  
Figure 4.3. Teneur en huile des différentes variétés de noyers (moyenne de trois années).  
Figure 4.4. Zones de prospection de noyers.  
Figure 4.5. Courbes moyennes de vulnérabilité à l'embolie des noyers selon leur provenance.  
Figure 4.6. Différentes provenances du matériel végétal étudié.

- Photo 7. Bactériose sur fruit.  
Photo 8. Anthracnose sur feuille.  
Photo 9. Anthracnose sur fruit.  
Photo 10. Carpocapse du noyer.  
Photo 11. Phytopte du noyer.  
Photo 12. Cochenille sur rameau.





## PRÉAMBULE

Le noyer est le nom vernaculaire donné aux arbres du genre *Juglans*. Ce genre comporte une vingtaine d'espèces différentes dont la plus connue dans le pourtour du bassin méditerranéen est *Juglans regia*, espèce connue sous le nom vernaculaire de « noyer commun » (walnut en anglais et Tassouikt en tamazight). Cette espèce est appréciée depuis longtemps, et un ouvrage collectif récent mentionne ses usages différenciés selon les pays. Ainsi, le Maroc est l'un des rares pays qui utilise sa racine pour ses propriétés astringentes (Kajji, 2014).

La détermination de son origine géographique fait l'objet de nombreuses recherches. Ce genre provient de l'Asie, probablement de régions correspondant actuellement à l'Iran ou à la Chine. Les chercheurs appuient leurs démonstrations sur les données moléculaires et cherchent à établir un arbre phylogénétique entre les genres de noyers ; parallèlement des phénomènes de spéciation, c'est-à-dire la différenciation entre plusieurs espèces à partir d'un ancêtre commun, ont été mis en évidence dans des régions montagneuses séparées par de vastes plaines impropres à la culture du noyer.

Une illustration de cette controverse est le titre d'une publication Persian Walnuts (*Juglans regia* L.) in Central Asia (Molnar *et al.*, 2011), puisque l'article donne comme origine du noyer l'Asie centrale alors que le nom américain du noyer est « noyer de Perse ».

L'aire naturelle du genre *Juglans* couvre les régions tempérées et subtropicales de l'hémisphère Nord : Est et Ouest de l'Asie, Europe de l'Est, Est et Ouest de l'Amérique du Nord, l'Ouest de l'Inde. Des espèces ont également été trouvées en Amérique centrale et le long de la Cordillère des Andes. La grande plasticité de ce genre peut expliquer cette large répartition. Certaines études archéologiques semblent également montrer que l'homme a cultivé certaines espèces du genre dès l'âge du bronze et a joué un rôle actif dans sa dissémination. Ainsi la culture de noyers au sud de la Grèce remonte au 2ème millénaire avant JC (Bottema, 1980). La difficulté de détermination précise de l'aire géographique naturelle du genre *Juglans* au moment de la dernière grande glaciation nécessite le recours à des études moléculaires à très grande échelle.

Un faisceau de données (nouveaux marqueurs moléculaires SSR, accès à des collections de pollen fossile, accès à des populations non cultivées de noyers en Asie) permet cependant d'éclairer progressivement l'évolution du noyer depuis l'Holocène en Eurasie (Pollegioni *et al.*, 2017 ; Feng *et al.* 2018 ; Zhao P. *et al.*, 2018 ). L'aire du noyer a été impactée par les changements climatiques et l'action de l'homme depuis le Pléistocène supérieur. Après la dernière grande glaciation, *Juglans regia* a survécu et a poussé spontanément dans des peuplements presque complètement isolés en Asie, depuis l'ouest de la Chine (province du Xinjiang) jusqu'au Caucase. Ces peuplements isolés dans des zones montagneuses constituant des sortes d'« îles » ont connu une spéciation plus ou moins poussée. Cependant l'analyse génétique, associée à des données ethnolinguistiques et historiques, a révélé que certains peuplements de noyers apparemment « indigènes » étaient en réalité le résultat, au moins en partie, d'anciens efforts humains. Les zones concernées par ces accroissements importants des populations de noyers sont des points d'échanges commerciaux importants, soit du fait d'une organisation politique forte (empire Perse, empire Romain), soit du fait d'échanges culturels et commerciaux importants (échanges grecs, route de la Soie). En particulier en Europe des augmentations soudaines des courbes de pollen des fossiles de *Juglans regia* ont été enregistrées entre 2500 et 1000 ans BP, probablement en raison de l'augmentation généralisée de la culture de noyers lors de l'expansion grecque et romaine. Des transferts de noix ont impacté la structure génétique spatiale de *Juglans regia*, en réduisant sa diversité par sélection et en augmentant son homogénéité génétique par propagation des noix intéressantes.

Le noyer est un arbre exploité depuis fort longtemps au Maroc. Ainsi, la présence de noyers est attestée à l'époque romaine sans qu'il ne soit actuellement possible de déterminer si cette espèce était présente avant l'arrivée des romains ou si elle a été introduite par eux puis disséminée au cours de voyages. L'hypothèse selon laquelle le roi Juba II aurait contribué au développement de cette culture n'est pas vérifiable actuellement ; cette hypothèse est basée sur le fait que Juba II a visité toutes les zones dans lesquelles se trouvaient des noyers. En rapport avec les besoins en froid de cette espèce, les noyers sont présents dans les différentes zones montagneuses du pays (Rif, Moyen Atlas, Haut Atlas), et sont souvent concentrés dans des vallées d'altitude (Photo 1).



Photo 1. Noyers dans les vallées encaissées du Haut Atlas

Il est possible qu'il y ait un début de différenciation des populations de noyers du fait, comme en Asie, de l'existence de zones sans noyers séparant les grands massifs montagneux. L'étude de comportement basée sur la vulnérabilité à la cavitation corrobore la tendance à la spéciation précitée.

La colonisation française, de la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, a certainement été à l'origine d'apport de nouveaux gènes au niveau du Maroc.

D'une manière plus certaine, des noyers d'origine bulgares ont été introduits par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime dans différentes régions du Maroc en 1984 et 1995. Des recherches en cours utilisant des marqueurs moléculaires pourraient éclaircir la question de l'origine des noyers du Maroc et évaluer leur biodiversité.



Dépôt légal : 2018MO5865  
ISBN : 978-9920-9814-0-8  
INRA-Edition 2020  
Conception et réalisation : HTL Consulting