

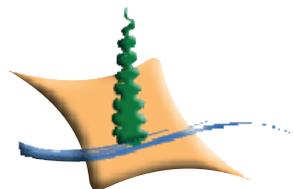
Royaume du Maroc
Haut Commissariat aux Eaux et Forêts
et à la Lutte Contre la Désertification



Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières

Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord

Hassan SBAY et Mohammed S. LAMHAMED I



Royaume du Maroc
Haut Commissariat aux Eaux et Forêts
et à la Lutte Contre la Désertification

Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières

*Techniques de valorisation et de conservation des espèces
à usages multiples face aux changements climatiques en
Afrique du Nord*

Hassan SBAY et Mohammed S. LAMHAMEDI

© Royaume du Maroc

On peut citer ce guide en indiquant la référence. Citation recommandée :

Sbay, H. et M.S. Lamhamedi, 2015 (éds.). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : *Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord*. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, 124 p.

Toutes les publications produites par le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification et le Centre de Recherche Forestière du Royaume du Maroc sont protégées par les dispositions de la Loi sur le droit d'auteur, les lois, les politiques et les règlements, ainsi que par des accords internationaux. Il est interdit de reproduire, même partiellement, ces publications sans l'obtention préalable d'une permission écrite.

Edition : Centre de Recherche Forestière

ISBN : 978-9954-36-767-4

Dépôt légal : 2015MO4397

Imprimeur : SEASON COLOR

Le Mot du Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification



L'accroissement de la population mondiale et l'évolution des niveaux de vie entraînent une demande croissante de bois et de produits dérivés et par conséquent une pression continue sur les ressources forestières. Cela tend de plus en plus à substituer à l'utilisation des forêts naturelles souvent complexes, la culture intensive d'essences à croissance rapide susceptibles de produire un fort volume de bois par unité de surface.

Parmi les moyens mis à la disposition du forestier pour accroître la productivité de la forêt, l'amélioration génétique des espèces et particulièrement, la multiplication végétative de variétés améliorées s'avère être actuellement une des voies les plus explorées.

Les avancées spectaculaires des techniques de multiplication végétative, surtout en matière de diffusion rapide des progrès de la sélection, ouvrent de nouvelles perspectives en termes de valorisation et de conservation des ressources génétiques forestières. Elles représentent sans conteste un levier permettant de faire face aux besoins croissants de la consommation et aux importations qui n'ont cessé d'augmenter.

La multiplication végétative par micropropagation ou culture in vitro représente un outil puissant, aux perspectives industrielles et économiques nouvelles. L'identification des meilleurs clones, par des tests clonaux, et leur multiplication par embryogenèse somatique, permettront de maximiser les gains génétiques tout en respectant la diversité génétique. L'embryogenèse somatique s'avère, en effet, une technique très prometteuse, beaucoup plus efficace que le bouturage classique, mais les résultats dans le domaine des arbres forestiers sont restés longtemps bien modestes.

C'est pourquoi, les progrès enregistrés ces dernières années dans ce domaine vont permettre de susciter l'intérêt pour la foresterie clonale et d'utiliser au mieux les résultats obtenus par les sélectionneurs.

Il est évident que l'emploi de clones doit prendre en compte la préservation de la diversité génétique en évitant les effets négatifs et les dangers que cela peut engendrer. Une production rationnelle et une utilisation prudente des clones peuvent permettre d'obtenir une diversité génétique identique ou même supérieure à celle des populations issues de semences, et c'est à cela que nous allons nous employer pour un développement raisonné où le principe de précaution est l'axe central de toute initiative de développement.

Il en va de même des arguments émis contre la sylviculture intensive, notamment le prix de revient jugé excessif et les dangers potentiels liés à consanguinité, ces arguments tendent à perdre leur pertinence en raison de la baisse des coûts et surtout de l'utilisation de la foresterie polyclonale (mélange d'au moins 30 à 40 clones de préférence non apparentés).

A l'heure où la gestion du changement climatique est devenue un défi majeur pour les producteurs d'énergie et les industries à forte consommation énergétique, les reboisements à but dominant énergétique – plantations à courte rotation de clones soigneusement sélectionnés et conduits en taillis pour la production de biomasse-énergie, constitue une alternative pour la production d'énergie renouvelable s'inscrivant parfaitement dans l'atténuation des effets des changements climatiques.

De même, dans le secteur des plantes aromatiques et médicinales, la sélection de clones à haut rendement, riches en principe actif recherché par les utilisateurs (industries pharmaceutiques entre autres) et leur multiplication par voie végétative, constitue un enjeu économique et écologique de première importance.

Dans un contexte international aux multiples défis et à la confluence des impératifs économiques pour la création de croissance, la nécessité de préserver les équilibres écologiques et de contribuer à un partage équitable des fruits de la croissance, les secteurs privé et public sont appelés à participer davantage au développement des activités de recherche-développement dans ce domaine, afin que les forestiers de demain puissent disposer d'un matériel végétal performant et adapté à la gestion durable de leurs écosystèmes forestiers.

Axé sur des expériences pratiques, le présent ouvrage présente d'une manière simple toutes les étapes nécessaires à la réussite de ces techniques, même pour les espèces les plus récalcitrantes telles que l'arganier et le chêne liège. Il constitue par ailleurs une contribution majeure à la mise en valeur et à la conservation des ressources génétiques forestières.

Ce guide pratique se veut un instrument technique qui capitalise l'expertise et le savoir-faire acquis dans le domaine de la multiplication végétative aussi bien au Centre de Recherche Forestière qu'à l'université Laval et le Ministère des ressources naturelles et de la Faune (Québec, Canada). Puisse-t-il constituer un outil complémentaire aux instruments de gestion que le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification développe pour la conservation et l'amélioration des ressources génétiques forestières.

Dr. Abdeladim LHAFI



Monsieur Hassan Sbay* a obtenu en 1982 son diplôme d'ingénieur forestier à l'Ecole Nationale Forestières d'Ingénieurs (ENFI) de Salé au Maroc. En 1985, l'Université de Nancy I (France) lui décernait un diplôme d'études approfondies en biologie et

physiologie végétale (M. Sc.). En 1989, la même université lui décernait un doctorat en biologie végétale et forestières (*Ph.D.*). En 2002, la Faculté de Droit et des Sciences Economiques de Limoges (France) lui a décerné le diplôme de 3e cycle en droit international de l'environnement (DIE).

Après avoir été chercheur en amélioration génétique des arbres forestiers au Centre de Recherche Forestière (CRF) de Rabat, au Maroc, de 1989 à 1991, M. Sbay a été nommé chef du Service de génétique forestière au même établissement. Il a été chargé de l'enseignement du cours de génétique forestière à l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs de 1995 à 2000. Il a effectué un stage postdoctoral en 1995 à l'Institut de génétiques forestières de Berkeley (San Francisco, Californie, Etats-Unis).

De plus, M. Sbay a effectué plusieurs stages de perfectionnement et collabore à différents projets de recherche et développement en génétique forestière au Canada (Québec), en France et en Espagne.

Il a suivi plusieurs formations spécifiques sur divers aspects de la génétique forestière au Centre International des Hautes Etudes Méditerranéennes (CIHEAM, Espagne) et à l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA, France).

Monsieur Sbay est membre de plusieurs comités, notamment membre permanent du comité de lecture des Annales de la Recherche forestière du Maroc depuis novembre 2002, membre de la commission nationale des peupliers, membre du conseil de l'association marocaine de biodiversité et membre du comité mixte d'experts maroco-français pour l'évaluation des projets de recherche développement en coopération depuis 2010 .

Il participe également à plusieurs réseaux de recherche méditerranéens (point focal national sur les ressources génétiques forestières, point focal du réseau FAO Silva Mediterranea pour le pin pignon, coordonnateur national du projet FAO/TCP/RAB/3303).

Il est l'auteur de plusieurs publications scientifiques et techniques, et dirige ou codirige des étudiants diplômés à la maîtrise et au doctorat. Son expertise porte sur la caractérisation de la variabilité génétique du cadre de (Atlas, des pins, du chêne liège et du caroubier, la sélection clonale des peupliers, la culture in vitro des conifères, le greffage et le bouturage des feuillus et des résineux et la production de plants améliorés en pépinière.

*** Correspondance :**

Hassan SBAY

Centre de Recherche Forestière
Service d'Amélioration Génétique des
Arbres Forestiers
Avenue Omar Ibn El Khattab
BP. 763 Agdal, Rabat. Maroc

Courriel :

hassansbay@gmail.com



Mohammed S. Lamhamedi* a obtenu son diplôme d'agronomie générale à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II) du Maroc en 1983. En 1985, ce même établissement lui décernait le diplôme d'ingénieur agronome

d'État spécialisé en sciences forestières (M. Sc.). En 1991, l'Université Laval (Québec, Canada) lui décerne un doctorat en sciences forestières (Ph. D.). Après avoir été enseignant-chercheur en écophysiologie et en plantations forestières à l'IAV Hassan II de 1986 à 1991, il a effectué un stage postdoctoral à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal (Canada). Il est ensuite devenu chercheur visiteur au Centre de foresterie des Laurentides du Service canadien des forêts en 1993-1995, puis en 1996-1997, directeur scientifique dans le cadre du projet d'installation de pépinières modernes financé par la Banque mondiale en Tunisie [Pampev International - Direction générale des forêts, Tunisie]. De plus, M. Lamhamedi a été attaché de recherche au Centre de recherche en biologie forestière (Université Laval) en 1998-1999. En 1999, il est devenu membre de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (OIFQ) après avoir complété la formation universitaire en sciences forestières exigée par cet ordre.

Chercheur émérite à la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec où il travaille depuis juin 1999, il est aussi chercheur associé au Centre d'étude de la forêt (CEF) et professeur associé à la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique, de même qu'à la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval. Il a agi à titre de rédacteur adjoint à la Revue canadienne de recherche forestière de janvier 2006 à décembre 2012 et est membre permanent du comité de lecture de la revue Nature et Technologie depuis novembre 2010.

Il est l'auteur de nombreuses publications scientifiques et techniques, et dirige ou codirige des chercheurs postdoctoraux et des étudiants à la maîtrise et au doctorat. Son expertise porte sur l'optimisation des régies de culture, la conception des standards de tolérance au gel des plants dans les pépinières forestières, la variabilité clonale des feuillus et des résineux, l'embryogenèse somatique des conifères, le bouturage des feuillus et des résineux et la production de plants dans les pépinières forestières. M. Lamhamedi s'occupe également de transfert d'expertise, de connaissances et de savoir-faire auprès des 19 pépinières forestières (6 gouvernementales et 13 privées) du Québec. De plus, sa contribution majeure à différents projets internationaux lui a valu une renommée mondiale pour l'adaptation de l'expertise québécoise et canadienne, ainsi que la mise au point de nouvelles innovations en matière de modernisation des pépinières forestières et de lutte contre l'ensablement dans différents pays (Tunisie, Ghana, Nicaragua, Maroc, Algérie, etc.).

*** Correspondance :**

Mohammed S. LAMHAMEDI
Direction de la recherche forestière
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
2700, rue Einstein, local B1-105
Québec (Québec) Canada G1P 3W8

Courriel :

mohammed.lamhamedi@mffp.gouv.qc.ca

Table des matières

Le Mot du Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification	iii
Remerciements	ix
Résumé	xi
Summary	xii
Introduction générale	xiii

CHAPITRE 1	Le bouturage	1
	1. Définition	3
	2. Avantages et inconvénients	4
	3. Outils et matériel	5
	4. Principaux facteurs de réussite	5
	4.1 Origine génétique (choix du matériel végétal: espèce, provenance, famille, clone)	6
	4.2 Âge du matériel à bouturer	6
	4.3 Niveau de prélèvement des boutures	6
	4.4 Qualité et préparation des boutures	6
	4.5 Stade et période de bouturage	8
	4.6 Traitements appliqués aux boutures	8
	4.7 Composition et propriétés physico-chimiques des substrats	8
	4.8 Qualité de l'eau d'irrigation	9
	4.9 Conteneurs (portoires ou récipients)	9
	4.10 Systèmes de bouturage, conditions du milieu et variables environnementales	9
	4.11 Préconditionnement et endurcissement des boutures	10
	5. Parcs à pieds-mères	10
	5.1 Mobilisation des clones adultes sélectionnés	10
	5.2 Constitution de collections et de parcs à pieds-mères	10
	6. Principales techniques de bouturage de rameaux	11
	6.1 Bouturage herbacé	11
	6.2 Bouturage semi-ligneux	23
	6.3 Bouturage ligneux	27
	7. Principales recommandations pour la réussite du bouturage à l'échelle opérationnelle	32
	8. Conclusion et perspectives d'avenir	32
CHAPITRE 2	Le greffage	37
	1. Définition	37
	2. Objectifs	38
	3. Outils et matériel nécessaires	38
	4. Principales conditions de réussite	39
	5. Conseils et précautions à prendre lors du greffage	39
	6. Principales méthodes de greffage	40
	6.1 Greffage en écusson	41
	6.2 Greffage en placage d'écusson (chip budding)	44
	6.3 Greffage en fente simple	47
	6.4 Greffage en couronne	54
	6.5 Greffage en placage	58
	7. Soins et protection après le greffage	60
	8. Conclusion et perspectives d'avenir	60

CHAPITRE 3

La micro propagation	65
1. Introduction	65
2. Conditions de culture	66
2.1 Préparation du matériel végétal	66
2.2 Préparation des milieux de culture	67
3. Principales étapes de la culture in vitro	70
3.1 Phase d'initiation	70
3.2 Phase de multiplication	70
3.3 Phase d'élongation	70
3.4 Phase d'enracinement (ou rhizogenèse)	71
3.5 Phase d'acclimatation	71
4. Embryogenèse somatique (ES)	71
4.1 Mise en contexte	71
4.2 Définition et atouts de l'embryogenèse somatique	72
4.3 Intégration de l'embryogenèse somatique dans la filière de reboisement de haute productivité	75
5. Conclusion et perspectives d'avenir	77

CHAPITRE 4

Stratégies et intégration des techniques de la multiplication végétative pour la production et la conservation des essences forestières et agroforestières face aux changements climatiques	81
1. Introduction	81
2. Complémentarité, éléments d'orientation et stratégies d'utilisation des principales techniques de multiplication végétative des ressources forestières et agroforestières	82
2.1 Greffage	82
2.2 Bouturage	83
2.3 Embryogenèse somatique	84
3. Utilisation et intégration de la multiplication végétative des arbres en Afrique du Nord et ailleurs: quelques exemples	86
4. La modernisation de la filière des pépinières forestières: une stratégie de développement incontournable pour assurer la production des plants de haute qualité morpho-physiologique et la réussite des reboisements	91
5. La multiplication végétative: un atout indéniable pour la conservation des ressources génétiques face aux changements climatiques	95
Références bibliographiques	
Glossaire	

Remerciements

La publication de ce guide s'inscrit dans le cadre des activités de transfert de savoirs et d'expertises, dont l'objectif est de multiplier et d'assurer la conservation des ressources génétiques, grâce aux avancées techniques opérationnelles de multiplication végétative appliquées aux essences forestières et agroforestières à usages multiples.

Cette première édition a été motivée par notre intention inconditionnelle d'offrir aux praticiens francophones dans ce domaine un accès direct aux principales techniques de multiplication végétative et aux possibilités de leur mise en application à l'échelle opérationnelle en foresterie, agro-foresterie et en horticulture. À notre connaissance, il s'agit d'un premier guide rédigé en français et qui vient combler un vide concernant l'existence de références pratiques dans ce domaine en Afrique du Nord. Ce guide sera également un outil précieux pour les pépiniéristes forestiers et horticulteurs du Québec.

Dans un premier temps, nous souhaitons rendre hommage aux chercheurs pionniers et aux équipes techniques du Québec et du Maroc et à leurs successeurs qui ont développé et transmis leurs savoir-faire auprès des praticiens. Ceci a permis d'améliorer de façon continue les techniques de multiplication végétative, de conservation des ressources génétiques et de production du matériel génétique et des plants de haute qualité morpho-physiologique en pépinière.

Nous adressons nos vifs remerciements aux gestionnaires et décideurs issus du Maroc et du Québec pour leurs commentaires constructifs, leurs encouragements et leur appui continu tout

au long des différentes phases de l'édition de ce guide (Maroc : M. Hajib Said, Chef du Centre de Recherche forestière, Mme Mesbah Hayat, Chef du service de la conservation de la faune et de la flore sauvages, M. Ghafour Mostapha, responsable de la pépinière et tout le personnel du service d'amélioration génétique des arbres forestiers; Québec : M. Robert Jobidon, directeur, M. Michel Campagna et Mme Claire Filion : chefs de service, Direction de la recherche forestière, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs).

Nous remercions également Mme Joanie Couture et MM. Michel Campagna et Mario Renaud pour les différentes révisions des différents chapitres, Mme Linda Veilleux et M. Mario Renaud pour la révision et la mise en page du glossaire et des références bibliographiques, ainsi que Mmes Maripierre Jalbert et Brigitte Boudreault pour la mise en page de ce guide.

Ce guide est le fruit d'une collaboration très fructueuse rendue possible grâce aux encouragements des gestionnaires, des chercheurs et des équipes techniques des deux centres de recherche (Centre de recherche forestière du Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la Désertification, Maroc & Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec) et surtout grâce à l'appui financier, technique et logistique de plusieurs organismes nationaux et internationaux (Agence universitaire de la Francophonie, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, etc.).



Agence universitaire de la Francophonie

Résumé

Sbay, H. et M.S. Lamhamedi, 2015 (éds.). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, 124 p.

L'édition de ce guide pratique sur les techniques de multiplication végétative contribue à la valorisation et à la conservation des principales essences forestières et agroforestières en Afrique du Nord. Il vient combler un vide concernant l'existence de références pratiques en français dans ce domaine, notamment pour les essences méditerranéennes.

Ce guide présente l'état actuel des connaissances sur la multiplication végétative des essences forestières à usages multiples. Il vise à diffuser de façon structurée l'information scientifique et technique, élément clé du développement économique. En texte et en images, les principales techniques de multiplication végétative sont clairement expliquées et vulgarisées, étape par étape dans différents chapitres (bouturage, greffage, micropropagation et stratégies et possibilités d'utilisation à grande échelle de la multiplication végétative des essences forestières et agroforestières).

La production de variétés sélectionnées qui répondent à certains objectifs spécifiques constitue un défi de taille pour les pépiniéristes. Les techniques de multiplication végétative représentent la solution la plus prometteuse pour multiplier ces variétés sélectionnées en fonction de plusieurs objectifs, en lien avec les nouveaux progrès en matière de valorisation et de domestication des essences forestières de grande valeur ajoutée, de même que l'utilisation des essences forestières locales en matière de foresterie urbaine. Le respect de la diversité génétique constitue une garantie à long terme quant à la résistance des variétés ou des clones, non modifiés génétiquement, aux stress biotiques et abiotiques, ainsi qu'aux changements climatiques. De plus, ces techniques contribuent à la conservation des espèces menacées de disparition et permettront de diminuer la pression sur les espèces les plus prisées à l'échelle commerciale et industrielle.

Mots clefs : Multiplication végétative, espèces forestières et agroforestières, bouturage, greffage, organogénèse, embryogénèse somatique, Afrique du Nord, conservation, changements climatiques.

Summary

Sbay, H. et M.S. Lamhamedi, 2015 (éds.). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, 124 p.

This handbook on vegetative propagation techniques contributes to the enhancement and preservation of the principal forestry and agroforestry species in North Africa. It fills a gap by providing practical information in French on this subject, especially for Mediterranean tree species.

This guide presents the current state of knowledge on vegetative propagation of multiple-use forest tree species. We expect that the dissemination of this scientific and technical information will enhance economies development in the region. Using words and pictures, the main vegetative propagation techniques are clearly explained step by step in the different chapters (cuttings, grafting, micro propagation, strategies and opportunities for large-scale use of vegetative propagation of forestry and agroforestry species).

The production of selected varieties that meet specified objectives is a major challenge for nurserymen. Vegetative propagation techniques are the most promising solution to reproduce these selected varieties to advance the restoration and domestication of high-value forest tree species, as well as the use of local tree species in urban forestry. Managing genetic diversity provides long-term benefits for maintaining varieties or clones that are resistant to biotic and abiotic stress, and climate change but not genetically modified. In addition, these techniques contribute to the conservation of endangered species and will reduce the pressure on the most popular species for commercial and industrial production.

Key words: Vegetative propagation, forestry and agroforestry species, cuttings, grafting, organogenesis, somatic embryogenesis, North Africa, conservation, climate change.

Introduction générale

Les besoins en produits ligneux de la population à l'échelle mondiale ne cessent de croître, alors que la surface des forêts naturelles productives est en constante diminution. Devant ce dilemme, l'augmentation tangible de la production ligneuse, en quantité et en qualité par unité de temps et de surface, devient donc une priorité incontournable. De plus, avec les changements climatiques en cours et ceux qui sont anticipés, les événements climatiques extrêmes auront des effets négatifs sur les ressources génétiques forestières et agroforestières. En effet, selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les tendances récentes particulières de l'Afrique du Nord, par exemple, prévoient des augmentations des températures et des diminutions des précipitations qui pourraient atteindre respectivement 4 °C et 10 mm.

Contrairement aux espèces des grandes cultures utilisées en agriculture (blé, orge, avoine, etc.) dont la domestication et l'amélioration remontent à l'époque de la Mésopotamie (3000 ans av. J.-C.), les espèces forestières peuvent être généralement considérées comme sauvages, malgré les améliorations effectuées depuis le début des années 1950. Ces espèces possèdent une très grande variabilité génétique qui se manifeste entre les espèces (variabilité interspécifique), les populations d'une espèce (variabilité intraspécifique) et les individus d'une même population (variabilité individuelle ou clonale).

À cet égard, l'amélioration génétique des arbres forestiers et la domestication des espèces de grande valeur ajoutée contribuent à accroître de façon durable la productivité, la qualité du bois, l'adaptation des ressources génétiques et la résistance des plantations aux interactions des différents stress environnementaux. En plus des approches classiques d'amélioration génétique, les récentes percées technologiques en matière de sélection, à l'aide des techniques de biologie moléculaire, ouvrent la voie à la sélection précoce des individus selon les caractéristiques désirées, et donc, à leur multiplication à un stade juvénile.

Après la sélection selon certains critères, le défi consiste à multiplier l'individu sélectionné en quantité suffisante. La multiplication sexuée ne

peut pas répondre à cet objectif, car elle engendre des variations individuelles importantes et ne peut pas garantir de perpétuer des caractères privilégiés d'une génération à une autre. Seules les techniques de multiplication végétative permettent de transmettre fidèlement aux générations futures les caractères désirés (qualité du bois, degré de branchaison, croissance, résistance aux stress environnementaux, rendement et qualité des fruits, qualité des huiles essentielles et comestibles, biomasse, etc.) qui risqueraient autrement de se perdre ou de s'affaiblir à la suite d'une reproduction sexuée.

La multiplication végétative consiste à produire des copies semblables dont le génome est identique à celui de la plante-mère. Ceci est possible avec la micropropagation *in vitro* car, contrairement aux animaux, les végétaux possèdent, à l'aisselle de chaque feuille, des cellules méristématiques indifférenciées qui peuvent reconstituer les divers organes nécessaires à la formation d'une nouvelle plante. Grâce au bouturage, il est possible également de régénérer, à partir d'un fragment de racine, de tige ou de feuille, de nouvelles plantes dotées des mêmes informations génétiques que la plante initiale.

Toutefois, ces techniques de multiplication végétative sont très sensibles au vieillissement des arbres. Leur mise en application nécessite le passage par une phase de rajeunissement (ex. : jeunes rejets de souches obtenus de façon naturelle ou par dépressage). Ainsi, la réussite des programmes de multiplication végétative à une échelle opérationnelle nécessite l'utilisation de boutures jeunes, qui atteignent généralement des taux d'enracinement plus élevés que des boutures âgées.

Actuellement, les principales techniques de multiplication végétative des ligneux comprennent le bouturage, le greffage, le marcottage ainsi que diverses techniques de micropropagation. Ces dernières exigent un personnel hautement qualifié et des investissements importants (matériel, formation du personnel spécialisé, etc.). À cet effet, elles sont généralement réservées aux espèces de grande valeur commerciale et de haute productivité.

Les principaux atouts et bénéfices de la multiplication végétative des arbres forestiers et agroforestiers sont qu'elle permet de :

- disposer de collections d'arbres adultes aux caractéristiques connues (qualité du bois, forme ou résistance à des maladies, etc.);
- conserver des génotypes en vue d'effectuer des croisements contrôlés (parcs à hybridation) et de constituer des banques de gènes;
- multiplier d'une manière conforme des individus sélectionnés en vue d'installer des vergers à graines et des tests clonaux, de manière à évaluer des paramètres génétiques plus précisément qu'avec des tests de descendance classiques;
- diffuser des produits spéciaux d'amélioration (hybrides exceptionnels, hybrides stériles, etc.) autrement que par graines, que ce soit en raison de l'âge de fructification, des faibles rendements en semences des croisements contrôlés ou de l'impossibilité matérielle de s'approvisionner directement dans l'aire naturelle (problèmes de coûts d'opération et risques phytosanitaires);
- multiplier à grande échelle des plants sélectionnés, afin d'installer des plantations clonales, de façon à mettre directement à profit les gains génétiques acquis dans le cycle de programmes d'amélioration;
- contribuer à conserver la diversité des ressources génétiques pour les génotypes d'intérêt, les espèces rares ou celles dont des populations sont menacées d'extinction.

Pratiquées longtemps de manière artisanale, les techniques de multiplication végétative ont connu un essor et un développement extrêmement important grâce aux méthodes de culture *in vitro*. Plus récemment, le développement et l'amélioration de la technique de l'embryogenèse somatique (ES : obtention d'un nombre indéfini d'embryons somatiques génétiquement identiques à celui de l'embryon zygotique issu de la graine, sans recourir à la fécondation) ont permis de renouveler, sinon de révolutionner, les modalités d'application des programmes d'amélioration génétique. Ces techniques ouvrent la voie au développement d'une foresterie clonale ou multivariétale hautement productive et respectueuse de la diversité génétique. Avec les nouvelles percées réalisées

pour la production du tissu embryogène à partir de bourgeons excisés chez des arbres adultes (et non plus seulement à partir de l'embryon d'une graine), il est fort probable que dans un proche avenir, on puisse produire des plants à grande échelle, à partir des organes (aiguilles, feuilles, etc.) des arbres matures sélectionnés selon des caractéristiques désirées.

Un avantage important de l'ES est qu'elle permet de produire, à partir d'une seule graine, un nombre illimité de plantes génétiquement identiques. Elle permet également la cryoconservation, c'est-à-dire le stockage à long terme du tissu embryogène de clones dans l'azote liquide, sans effet sur la juvénilité et la capacité à se multiplier. Une fois que les performances des clones ont été éprouvées sur le terrain, les tissus des individus sélectionnés peuvent être facilement décongelés pour un déploiement à grande échelle. La cryoconservation peut aussi permettre de conserver et de rétablir des espèces gravement menacées d'extinction en raison de leur vulnérabilité aux stress biotiques et abiotiques et de leur utilisation accrue.

Le recours à la foresterie multivariétale (ou multiclonale) permet d'augmenter de façon significative le gain génétique tout en respectant la diversité génétique en utilisant un nombre de clones suffisant (20 à 30 clones) non apparentés dont les génotypes sont différents. L'utilisation des clones ou des variétés contribue également à améliorer l'uniformité des plantations selon les caractères désirés. La gestion durable de ce genre de plantations demande toutefois une meilleure compréhension des caractéristiques particulières des clones et de leur diversité génétique.



Chapitre 1

Le bouturage

Sbay, H. et M. S. Lamhamedi, 2015. *Le bouturage*. Dans : Sbay, H. et M. S. Lamhamedi, 2015 (éds.). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, p. 1-34.

Chapitre 1 : Le bouturage

1. Définition

Le bouturage est la technique la plus utilisée pour multiplier des plantes par voie végétative à partir d'un fragment de racine, de tige ou de feuille. Les boutures prélevées sur l'individu à multiplier permettent de générer des copies dont le génotype, la croissance et l'architecture seront généralement identiques à ceux de la plante-mère. (Figure 1-1).

Ainsi, plusieurs étapes doivent être franchies avec succès pour que la bouture donne naissance à un plant autonome et fonctionnel : cicatrisation, formation de nouvelles cellules, induction de la formation des racines et leur rattachement aux tissus vasculaires de la bouture, initiation et élongation du système racinaire.

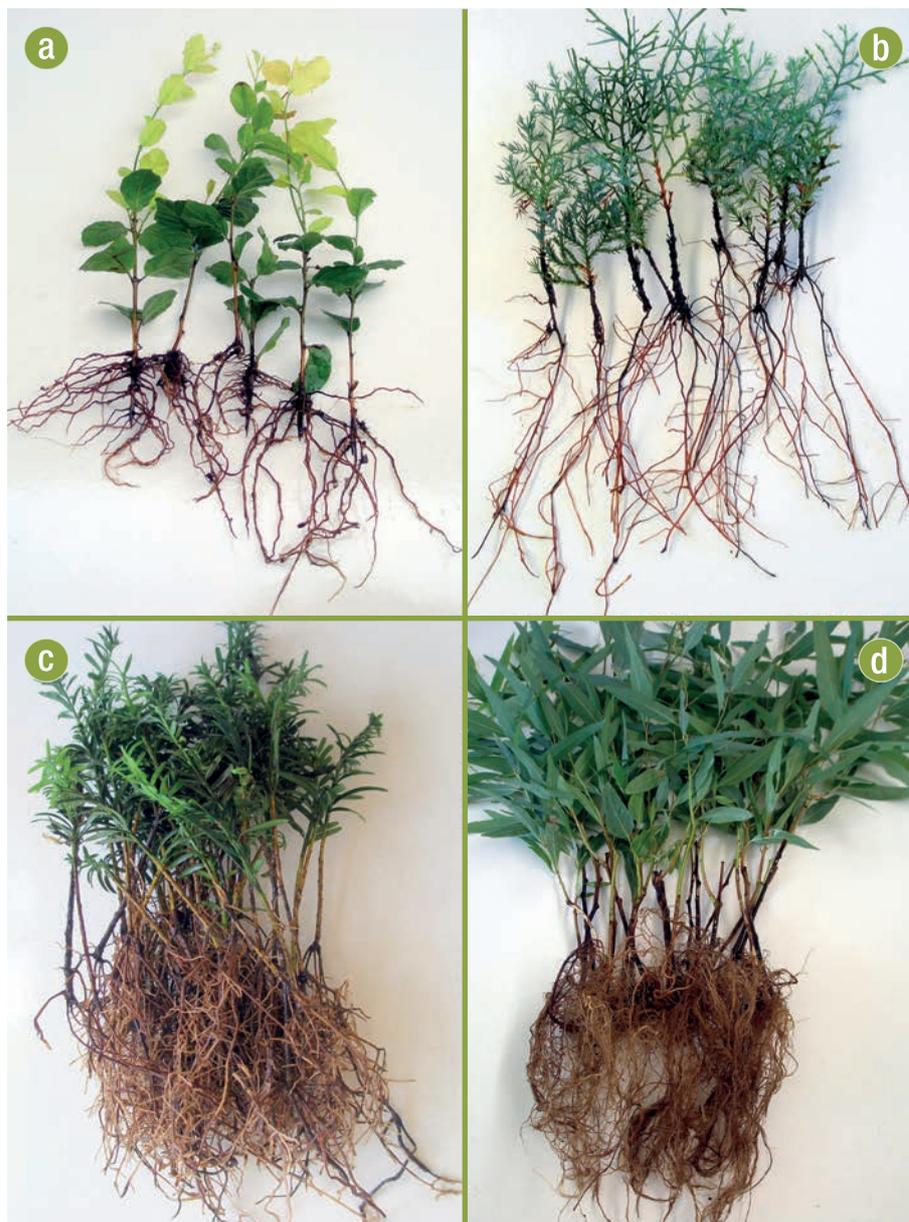


Figure 1-1. Exemple de boutures de rameaux enracinées de quatre espèces forestières : a) chêne liège; b) thuya de Berbérie; c) if commun; d) eucalyptus.

L'enracinement des boutures est un processus complexe intimement lié à l'interaction de plusieurs facteurs, notamment la qualité morpho-physiologique de la bouture (génotype, concentration en azote, contenu en eau, etc.), le substrat d'enracinement et sa teneur en eau, les propriétés physico-chimiques du substrat (pH, environnement gazeux, drainage, etc.), l'humidité relative et la température de l'air, le déficit de pression de vapeur, la surface foliaire, l'intensité de lumière, etc.

Pour certaines espèces, l'enracinement est fortement amélioré par l'utilisation de boutures issues de pieds-mères jeunes et par l'imprégnation de la base des boutures à l'aide de régulateurs de croissance (hormones végétales).

Le présent chapitre traitera uniquement du bouturage de rameaux, qui consiste à insérer un rameau dans un substrat doté de propriétés physico-chimiques favorables à l'enracinement et à le placer sous des conditions environnementales particulières.

Les espèces traitées ne sont pas généralement des essences faciles à bouturer et ne se prêtent pas au bouturage « à racines nues » que l'on utilise, par exemple, pour produire à grande échelle des variétés de peuplier, aussi bien au Maroc qu'en Tunisie.

2. Avantages et inconvénients

Pour certaines espèces, la multiplication par graines est difficile et seul le bouturage est utilisé exclusivement pour produire des plants. Cette technique est couramment utilisée par les pépiniéristes pour multiplier en masse des individus dont les caractéristiques sont très recherchées ou rares.

Les principaux avantages du bouturage par rapport à la production de plants issus de semis sont les suivants :

- il permet de copier fidèlement les caractéristiques du pied-mère et garantit souvent l'obtention de plants plus vigoureux;
- il s'agit d'une voie rapide et très avantageuse pour la production de plants destinés aux reboisements intensifs de haute productivité, par exemple, lorsque les pieds-mères sont issus de clones ou de semences produites par des croisements dirigés;
- il facilite le développement, l'avancement des connaissances sur la croissance et la physiologie (matériel uniforme, etc.), la sélection ciblée multicritères et l'intégration de la foresterie clonale ou multivariétale à l'échelle opérationnelle;

- il permet une distinction des clones, qui montrent une plus grande uniformité en matière de croissance et d'architecture des parties aériennes que des plants issus de semences;
- cette technique est considérée parmi les voies rapides et efficaces en matière de sélection et de multiplication, à l'échelle opérationnelle, des individus sélectionnés pour leur résistance aux agents pathogènes (champignons, virus, etc.);
- il permet de multiplier des porte-greffes compatibles, des individus rares, peu ou non fructifères, ainsi que des espèces à fructification aléatoire;
- sur le plan économique, c'est la technique de multiplication végétative la moins onéreuse et celle qui est la plus à la portée des pépiniéristes.

Le bouturage des arbres forestiers présente les inconvénients suivants :

- certaines espèces comme le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* [Manetti ex Endl.] Carrière) ou certains pins sont réfractaires à cette technique, puisque le taux d'enracinement reste relativement faible. D'autres essences, comme l'arganier (*Argania spinosa* L.) ou le chêne liège (*Quercus suber* L.) nécessitent beaucoup de soins et sont extrêmement exigeantes quant aux conditions environnementales (humidité relative, température, substrat, etc.) lors de la phase d'enracinement des boutures;
- chez la majorité des espèces ligneuses, la capacité d'enracinement des boutures diminue avec l'âge. L'enracinement des boutures prélevées sur de vieux arbres forestiers constitue donc un défi de taille. Par contre, le prélèvement des boutures issues du matériel jeune (pieds-mères jeunes, rejet de souches, etc.) donne généralement de bons résultats d'enracinement;
- dans certains programmes de reboisement, le recours à la foresterie clonale de courte rotation peut être accompagné d'une réduction de la diversité génétique, surtout lorsqu'on utilise un nombre très restreint de clones. Ceci pourrait rendre certaines plantations, dans certaines conditions particulières, plus vulnérables aux stress biotiques et abiotiques;
- le bouturage des arbres adultes (« arbres plus »), lorsqu'il s'avère possible, contribue parfois à l'augmentation de l'hétérogénéité intraclonale. Ce phénomène, appelé communément « effet du bouturage », figure parmi les obstacles au bouturage du matériel prélevé sur des arbres âgés;

- le bouturage pourrait facilement favoriser le développement, la transmission et la propagation de certaines maladies. C'est pourquoi les pépiniéristes utilisent des fongicides et des insecticides aux différents stades d'enracinement;
- les techniques de bouturage spécifiques à chaque essence nécessitent des réajustements et une optimisation continue, afin de diminuer les coûts et améliorer les taux d'enracinement et de survie des plants.

3. Outils et matériel

- un sécateur bien aiguisé et bien désinfecté lors de la collecte des boutures;
- un couteau;
- des hormones de croissance lors du bouturage lorsque nécessaire;
- du substrat bien aéré pendant la phase d'enracinement (terreau de charbonnière, sable, tourbe et perlite, écorce, substrat à base de compost, etc.);
- un système de brumisation et d'arrosage;
- une serre ou un tunnel doté d'un système de contrôle de la température, de l'humidité relative de l'air et du déficit de pression de vapeur;
- des boutures saines et vigoureuses dotées d'un statut nutritionnel adéquat;
- des fongicides et insecticides;
- un système d'identification et de traçabilité des clones (étiquetage, codes-barres ou empreintes génétiques);
- des ombrières;
- les différents outils de bouturage doivent être stérilisés ou désinfectés avec de l'alcool ou de l'eau de javel.

4. Principaux facteurs de réussite

Différents facteurs clefs influencent l'enracinement des boutures et la réussite de la filière de bouturage, notamment l'origine génétique, l'espèce, l'âge du pied-mère ou de l'arbre, l'état physiologique du plant donneur de boutures, la période ou la hauteur de prélèvement des boutures et les techniques culturales (période de bouturage, conditions du bouturage, manipulations, traitement hormonal des boutures, etc.) (Figure 1-2.). Par exemple, l'enracinement des boutures diminue selon l'augmentation de l'âge des pieds-mères. À l'inverse, les boutures issues de jeunes pieds-mères permettent d'obtenir un excellent taux d'enracinement. Ce phénomène de maturation, sous contrôle génétique et physiologique, constitue un handicap majeur lors du bouturage des arbres âgés. L'état physiologique des boutures varie selon la saison de croissance (fin hiver et avant débourrement, croissance active, aoûtement et lignification). D'autres facteurs reliés aux techniques culturales, aussi bien pendant la phase d'enracinement que de croissance, peuvent aussi avoir des effets sur la survie et la physiologie des boutures.

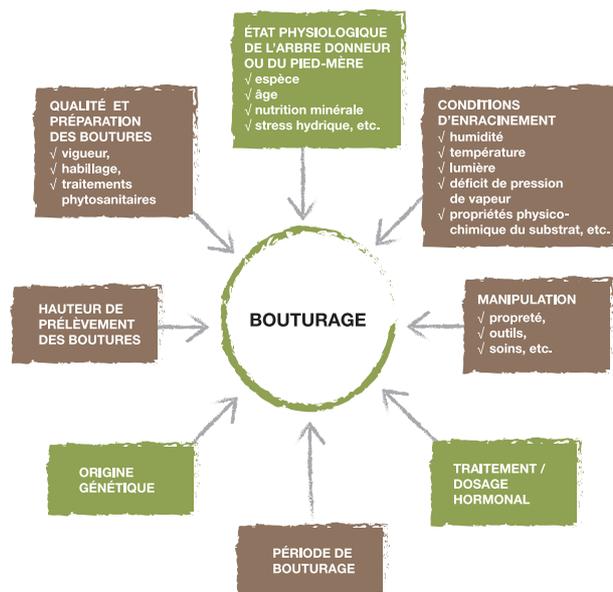


Figure 1-2. Principaux facteurs de réussite du bouturage.

4.1 Origine génétique (choix du matériel végétal : espèce, provenance, famille, clone)

Selon l'état d'avancement du programme d'amélioration génétique de chaque essence, la sélection du matériel (boutures) est réalisée sur des individus issus de provenances, de vergers, de familles ou de clones (variétés).

Le programme d'amélioration génétique le plus avancé au Maroc, par exemple, est celui des Eucalyptus, à cause des utilisations de ceux-ci dans l'industrie (exportation des pâtes à papier) et en agroforesterie (production du miel en utilisant des espèces avec différentes périodes de floraison). Les pieds-mères sont issus de clones sélectionnés selon les traits désirés. Les boutures sont échantillonnées sur des jeunes pieds-mères (2 à 4 ans). L'irrigation et la fertilisation sont adaptées pour répondre aux objectifs du programme de bouturage (nombre de boutures, statut nutritionnel des boutures, etc.).

Dans le cas de l'arganier, différentes approches sont utilisées pour produire des boutures, notamment, 1) la sélection d'individus appelés « têtes de clone » (15 à 30 clones distants de 10 à 15 km) sur la base de plusieurs critères génétiques et qualitatifs dans les peuplements naturels (production de noix faciles à décortiquer, production d'huile d'argan, etc.); 2) la production de marcottes pour mobiliser les têtes de clones récalcitrantes; 3) la production de boutures en vrac à partir de pieds-mères issus de semences sélectionnées; 4) l'utilisation de rejets plus proches de la souche, car plus réactifs.

Pour la majorité des espèces, il est possible de multiplier pratiquement tous les clones à partir d'ortets de moins de trois ans environ. Au-delà, il existe une variabilité très importante de l'aptitude à l'enracinement. Cependant, les variations des taux d'enracinement à un âge donné peuvent être extrêmement importantes entre provenances, entre familles à l'intérieur des provenances, et entre les clones.

La variabilité interclonale indique clairement que des boutures pourront avoir un développement différent suivant leur origine. Ainsi, le choix du matériel de départ conditionne toute la lignée de boutures qui en sera issue.

Pour la production de pieds-mères à partir de semences, il s'avère nécessaire que ces dernières soient issues d'au moins 20 à 30 arbres d'une population donnée, espacés d'au moins 20 m. Ceci permettra de conserver la diversité génétique tout

en utilisant un matériel diversifié et représentatif du pool génétique capable de tolérer les stress biotiques et abiotiques.

4.2 Âge du matériel à bouturer

Différentes expériences menées sur plusieurs espèces (eucalyptus, pin maritime, arganier, etc.) ont montré que les boutures prélevées sur des arbres jeunes s'enracinent plus facilement que celles prélevées sur des arbres âgés; la capacité d'enracinement est rapidement perdue avec l'âge croissant du plant.

L'étude des jeunes plants d'eucalyptus montre que les zones dotées d'une bonne rhizogenèse sont rapidement repoussées vers les extrémités supérieures des parties les plus jeunes (à l'exclusion toutefois des bourgeons terminaux), et qu'elles disparaissent presque complètement entre l'âge de 6 mois à 1 an. Il devient alors nécessaire de rajeunir le sujet. Le moyen le plus efficace est la coupe au ras du sol. Les sujets néoformés présentent, dans les 2 mois qui suivent cette coupe, une grande capacité au bouturage. Des rejets prélevés trop loin du collet ne s'enracinent pas aisément.

Certaines espèces sont capables de s'enraciner à 90 % si les boutures sont prélevées sur des jeunes semis. Cependant, à ces stades très juvéniles, le problème réside dans le très faible taux de multiplication. Généralement, un semis âgé de 4 semaines ne produit guère plus qu'une bouture, ce qui n'est évidemment pas un facteur de multiplication suffisant dans la pratique du bouturage. Chez certaines espèces résineuses, notamment les épinettes, on utilise des pieds-mères extrêmement jeunes, soit au début de la 2^e saison de croissance pour la production de boutures.

4.3 Niveau de prélèvement des boutures

Le succès du bouturage est conditionné par la position et la hauteur de prélèvement des boutures sur l'arbre. D'une manière générale, plus le rameau prélevé sur l'arbre est proche du système racinaire, plus la rhizogenèse sera facile. Cette règle se vérifie bien pour les chênes et les eucalyptus : s'il est pratiquement impossible d'enraciner des rameaux de cime, il est relativement aisé de bouturer des rameaux émis directement sur le tronc (gourmands), et encore plus facile de bouturer des rejets de souche.

4.4 Qualité et préparation des boutures

Les praticiens ont toujours noté les effets positifs de la vigueur des pieds-mères sur la production et l'enracinement des boutures, et cultivent ceux-ci

de façon intensive (entretien, fertilisation, irrigation, etc.). Avant l'échantillonnage des boutures, les pieds-mères doivent être bien fertilisés afin que les boutures aient au moins une concentration foliaire en azote de 2 à 2,5 % dans le cas des résineux, ou de 2,5 à 3,5 % dans le cas des feuillus. Cette réserve en azote est primordiale pour l'enracinement des boutures. La concentration foliaire en bore devrait également être surveillée, car cet élément favorise la division cellulaire et la croissance des apex racinaires. Des concentrations foliaires en bore de 20 à 70 ppm sont recommandées.

Les boutures doivent être prélevées de manière à éviter que la bouture subisse un stress hydrique. Pour ce faire, l'arrosage des pieds-mères et le prélèvement tôt le matin sont fortement recommandés. Le potentiel hydrique du xylème des boutures ne doit pas être plus faible que de -0,7 à -1,0 MPa. Pour les essences qui possèdent de

larges feuilles (ex : eucalyptus), la surface foliaire des boutures doit être réduite pour diminuer les pertes d'eau par transpiration. Afin d'éviter le dessèchement des boutures, il s'avère nécessaire de les conserver dans des sacs humides ou dans une glacière, particulièrement lorsque la durée de transport est longue entre le site d'échantillonnage des boutures et la station de bouturage. Après le repiquage des boutures dans le substrat d'enracinement, des pulvérisations avec de l'eau sont également recommandées.

Le stress causé par une blessure entraîne des modifications physiologiques, qui peuvent parfois interagir avec les substances de croissance endogènes ou exogènes. Selon les espèces, le degré de maturité sexuelle des pieds-mères et les stress environnementaux, certaines boutures fructifient même en pépinière (Figure 1-3).



Figure 1-3. Floraison de quelques boutures du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). a) fleurs mâles; b) fleurs femelle; c-d) apparition de fruits en pépinière; e) plants de bonne qualité morpho-physiologique issus de boutures; f) exemple d'une excellente survie et d'une bonne croissance de boutures de caroubier, un an après la mise en terre en site de reboisement.

4.5 *Stade et période de bouturage*

Les résultats obtenus au cours de différentes campagnes de bouturage peuvent varier dans le temps, même avec du matériel génétique comparable et une technique de bouturage identique. Une partie de ces variations peut être attribuée à une évolution de la phénologie. Une autre partie s'explique par l'état physiologique des boutures, en relation avec les saisons et les variations du climat qui sont devenues parfois extrêmes.

Pour cibler la meilleure période de récolte, on peut être guidé par l'état d'activité de la plante. En zone méditerranéenne, beaucoup d'espèces se bouturent difficilement pendant les saisons hivernale, froide, et estivale, extrêmement chaude. L'époque la plus favorable pour réussir le bouturage est celle avant ou juste après le débourrement des bourgeons de l'arbre, ce qui correspond à la période de février à avril. Ceci coïncide généralement avec le printemps et avec la période de croissance active, c'est-à-dire d'élongation de nouvelles pousses (boutures). Des exceptions peuvent être faites pour certaines espèces qui peuvent se bouturer en toute saison.

À la considération du choix de la saison du bouturage s'ajoute celui du choix du stade phénologique des boutures prélevées. On distingue trois stades : herbacé, semi-ligneux et ligneux. Les techniques de bouturage pour ces trois types de boutures diffèrent, et sont décrites plus loin.

4.6 *Traitements appliqués aux boutures*

Généralement, l'enracinement des boutures des essences traitées dans ce document est amélioré à la suite d'une application d'hormones de croissance. L'acide indole butyrique (AIB) est le régulateur le plus communément employé pour induire la rhizogenèse. Des expérimentations conduites au Centre de Recherche Forestière (Rabat, Maroc) ont permis d'établir des conditions relativement satisfaisantes d'application du traitement pour différentes essences. C'est l'AIB appliqué à la base des boutures, sous forme de poudre à 1 %, qui a mené au meilleur pourcentage d'enracinement et au système racinaire de la meilleure qualité. L'expérience a également prouvé qu'une trop forte dose d'hormones donnait l'effet inverse de celui recherché, et inhibait complètement l'émission des racines. Dans le cas des boutures herbacées d'arganier prélevées à partir de rejets de souche, les meilleurs résultats d'enracinement ont été obtenus après un trempage pendant 5 secondes dans une solution liquide d'AIB à une concentration de 1000 ppm.

4.7 *Composition et propriétés physico-chimiques des substrats*

L'absence d'un substrat standard doté de bonnes propriétés physico-chimiques pose un problème épineux en Afrique du Nord, aussi bien pour le bouturage que pour la production de plants forestiers et agroforestiers. Des substrats de compositions variées sont utilisés pour le bouturage des rameaux de différentes essences forestières et agroforestières (volume/volume : 50 % tourbe / 50 % perlite; 50 % sable grossier / 50 % terreau forestier; 50 % terreau forestier / 50 % tourbe; etc.). Le pépiniériste peut également utiliser du substrat à base de compost obtenu à partir de branches d'essences à croissance rapide (acacia, eucalyptus, etc.) et d'écorces de pins, ou encore, un substrat constitué d'un mélange de 2 composts à texture relativement fine (50 % compost d'acacia / 50 % compost d'écorce), obtenu de la valorisation des branches et des écorces issues d'opérations sylvicoles (éclaircie, dépressage, coupe de nettoyage, etc.).

Le pépiniériste doit porter une attention particulière à certaines propriétés physico-chimiques extrêmement importantes du substrat, notamment la capacité de rétention en eau et la disponibilité en oxygène de ses composantes (terreau, sable, tourbe, perlite, etc.), principalement lors de la phase d'enracinement et après la transplantation des boutures enracinées. Des teneurs en eau du substrat ne dépassant pas 45 à 55 % (volume/volume) sont fortement recommandées lors du bouturage, afin d'éviter la formation permanente d'une nappe d'eau perchée dans la partie inférieure des cavités du conteneur. De plus, le substrat d'enracinement doit être bien aéré, avec une porosité variant de 20 à 40 %, pour éviter l'asphyxie racinaire, la pourriture et la prolifération de pathogènes.

La proportion de matière organique dans le substrat d'enracinement doit être relativement élevée (> 60 % en volume) pour garantir une bonne capacité de rétention en eau et une bonne capacité d'échange cationique, qui favorisera également la rétention des éléments minéraux, notamment lors des premières fertilisations après la phase d'enracinement. Le pH du substrat ne doit pas dépasser 6 à 7.

En cas de doute quant à la qualité phytosanitaire du substrat, surtout lorsque celui-ci est recyclé en pépinière, sa stérilisation est recommandée (longue durée d'exposition au soleil d'été sous une couverture en plastique, désinfection chimique, etc.).

4.8 Qualité de l'eau d'irrigation

La mauvaise qualité de l'eau d'irrigation dans les zones arides et semi-arides peut avoir des effets négatifs sur l'enracinement et la croissance des plants issus de boutures. En effet, le pH de l'eau d'irrigation ne doit pas être supérieur à 7,3, et la concentration en bicarbonate de calcium ne doit pas excéder 60 mg/L. Des pH élevés et de fortes concentrations en bicarbonate peuvent engendrer des symptômes de carence en fer après la phase d'enracinement et lors de la croissance des boutures. De plus, la salinité ne doit pas être trop élevée, pour éviter l'apparition de taches ou de dessèchement foliaires.

4.9 Conteneurs (portoirs ou récipients)

La nature du conteneur, la volumétrie et la densité des cavités, le nombre de boutures par cavité, la dimension et la surface foliaire des boutures (conteneur, nombre de boutures par cavité, pastilles Jiffy, sachets de polyéthylène, etc.) ont une influence sur l'enracinement des boutures. Les boutures sont généralement insérées à une profondeur variant de 1,5 à 2 cm dans les cavités préalablement remplies par un substrat léger doté d'un bon drainage.

4.10 Systèmes de bouturage, conditions du milieu et variables environnementales

Les variables environnementales (température, humidité relative et déficit de pression de vapeur) jouent un rôle important dans la réussite de l'enracinement des boutures. L'absence de racines ne permet pas à la bouture de maintenir son potentiel de turgescence maximale. Ainsi, le maintien d'un taux d'humidité relative élevé, sans pour autant saturer excessivement le substrat, permet de réduire le stress hydrique conféré aux boutures et de favoriser leur enracinement. Pour ce faire, en Afrique du Nord, pour le bouturage des essences forestières et agroforestières, les pépiniéristes ont généralement recours à des systèmes à l'étouffée avec brumisation (ou microbrumisation) intermittente, dans un tunnel couvert parfois d'une ombrière.

Le bouturage à l'étouffée consiste à placer les boutures sous un matériau (tunnel, tunnel couvert par une ombrière, tunnel constitué de 2 couches de polyéthylène blanc ou clair isolées par une injection d'air, etc.) relativement étanche pour maintenir une humidité relative élevée près des boutures. Le choix du polyéthylène mince (1 à 3 mil.), blanc ou clair, dépend de l'intensité de lumière, de la température de l'air et de la saison (printemps ou début été).

Pour certaines espèces d'eucalyptus, la phase d'enracinement peut se faire également en plein air, sous ombrière, avec un système de brumisation intermittente. Ces systèmes sont largement utilisés et assez peu coûteux. La fréquence et l'intensité de brumisation doivent être réglées de façon à maintenir un film d'eau sur la surface foliaire pendant la phase d'enracinement.

Il existe d'autres systèmes de bouturage, dont le choix varie selon le coût d'installation et d'entretien, la capacité financière du pépiniériste, la demande en boutures, le prix de vente des boutures et le degré de difficulté de l'essence à bouturer :

- les systèmes de brouillard produisent de fines gouttelettes d'une grosseur moyenne de 15 μm , qui restent en suspension dans l'air. Elles permettent de diminuer la température de l'air, le déficit de pression de vapeur et la transpiration. Ce système coûte cher et nécessite de nombreux entretiens, surtout dans les zones semi-arides et arides, à cause de la mauvaise qualité de l'eau qui réduit l'espérance de vie des buses, souvent bouchées par des impuretés;
- les systèmes de brumisation permettent de contrôler la fréquence de brumisation selon les objectifs du pépiniériste, avec un ajustement continu et instantané en fonction des variables environnementales (humidité relative de l'air, température, déficit de pression de vapeur) et des conditions du climat (ensoleillement, évapotranspiration potentielle, etc.).

Il est indispensable de maintenir en permanence, pendant la durée de l'enracinement, une humidité relative de l'air élevée (> 90 %) et une température idéale comprise entre 25 et 27 °C. Il faut également éviter le rayonnement direct du soleil sur les boutures. En multiplication par bouturage, il est classique d'obtenir de meilleurs résultats en confinant les boutures dans une atmosphère à hygrométrie élevée. Les boutures sont des organes isolés à l'interface sol-racines du continuum sol-plante-atmosphère, et ont tendance à se dessécher rapidement. Les boutures de chêne liège sont particulièrement sensibles au dessèchement, mais également très sensibles à un excès d'eau dans le substrat de croissance.

Les conditions du milieu et les variables environnementales considérées comme optimales sont :

- un degré de luminosité et d'intensité de lumière optimaux selon les espèces (de 300 à 500 $\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$);

- un maximum d'humidité diurne permanente et la présence de fines gouttelettes qui recouvrent le feuillage d'une couche d'eau très mince, sans toutefois mouiller et saturer le substrat. L'humidité dans la partie souterraine n'est pas le seul élément important. Pour les boutures herbacées, une humidité relative de l'air supérieure à 90 % est presque indispensable, sinon, les pousses dépourvues de racines fanent très vite;
- un déficit de pression de vapeur (DPV) à l'intérieur des enceintes devrait idéalement demeurer inférieur à 1 kPa pendant toute la phase d'enracinement des boutures. Le DPV est la différence entre la pression de vapeur saturante et la pression de vapeur dans la masse d'air considérée. Pour une même température (T°), le DPV varie avec l'humidité relative de l'air. Si la T° de l'air est de 20 °C et son HR de 60 %, son DPV est de 7,02 mm Hg; si la T° de l'air est portée à 30 °C (sans que son humidité ne soit changée), le DPV passe de 7,02 à 21,32 mm Hg : la vitesse d'évaporation est triplée (1 kPa = 10³ Pa; 1 atm=0,1013 MPa = 760 mm Hg);
- une température ambiante moyenne d'environ 26 °C;
- une bonne ventilation combinée à un bon système de refroidissement, pour éviter les excès de température;
- un très bon état sanitaire des boutures pendant toutes les différentes phases du bouturage (fongicides obligatoires);
- un substrat non alcalin (pH : 5 à 6,5) et très filtrant (s'approcher des propriétés physiques du substrat 50 % tourbe + 50 % perlite, idéal pour l'enracinement des boutures) qui respecte la sensibilité au pH des essences méditerranéennes.

Les boutures s'enracineront bien dans du sable grossier, mais dans un tel substrat, le risque de dessèchement rapide est important; il est plus prudent d'ajouter un peu de tourbe ou de matière organique au substrat pour améliorer sa capacité de rétention en eau.

L'eau maintient la bouture en vie et stimule l'émission des racines. C'est par la présence de cet élément vital que les racines peuvent se développer. Aussi, un substrat qui se réchauffe vite est très nettement favorable à l'enracinement des boutures.

4.11 Préconditionnement et endurcissement des boutures

Une fois la phase d'enracinement franchie, les jeunes plants doivent subir un préconditionnement et être acclimatés progressivement afin de s'endurcir adéquatement. Cette acclimatation progressive se fait en réduisant l'humidité relative par paliers successifs, à raison de 8 à 10 % par jour pendant 6 à 7 jours. Ceci permet aux plants de bien se préparer aux conditions environnementales naturelles après leur transplantation en pépinière, à l'extérieur.

Selon les objectifs et le gabarit visés, les plants peuvent séjourner en pépinière et suivre différentes régies de cultures adaptées à la cinétique de croissance de chaque essence. Nos travaux sur la modernisation des pépinières forestières en Afrique ont permis de déterminer les itinéraires techniques et les régies de culture (irrigation, fertilisation, confection de substrats à partir de composts, etc.) pour produire des plants forestiers et agroforestiers de bonne qualité morpho-physiologique à une échelle opérationnelle.

5. Parcs à pieds-mères

Quelle que soit l'espèce envisagée, la mise en place d'un programme de multiplication végétative comporte trois étapes principales : la mobilisation des clones adultes sélectionnés en forêt sur la base de leur phénotype, la constitution de collections et de parcs à pieds-mères, puis la multiplication en masse des sujets sélectionnés.

5.1 Mobilisation des clones adultes sélectionnés

Cette étape permet d'obtenir la première génération de copies génétiques indépendantes et autonomes des adultes sélectionnés, et induit généralement une réactivation physiologique du matériel. Afin d'assurer une mobilisation la plus efficace possible des arbres adultes, il sera nécessaire de rechercher et de prélever des fragments au potentiel de juvénilité suffisant pour favoriser l'enracinement. Les rejets de souche et les drageons constituent généralement un matériel favorable. Ce matériel très juvénile peut être utilisé directement en bouturage.

5.2 Constitution de collections et de parcs à pieds-mères

Le bouturage est indissociable de la production et de la gestion de pieds-mères. Les pieds-mères sont des copies conformes rajeunies de l'ortet, qui fournissent les boutures pour produire des plants destinés au reboisement.

Une fois mobilisés, les clones sélectionnés doivent être installés en collections afin d'assurer leur conservation et leur multiplication en masse. Généralement, les pieds-mères sont regroupés dans un parc à pieds-mères qui sera taillé ou recépé à intervalles réguliers et suivant une technique particulière pour y prélever les boutures de meilleure qualité. Le but de l'élevage des pieds-mères est de produire un maximum de boutures aptes physiologiquement à s'enraciner et à produire des plants conformes aux normes et critères de qualité morpho-physiologique des plants destinés au reboisement.

Les praticiens se sont très rapidement intéressés à la conduite des pieds-mères, car la production et l'enracinement des boutures sont très fortement influencés par la vigueur de ceux-ci. Les pieds-mères seront, selon les besoins et l'intensité de production choisie (parc de pieds-mères intensif, semi-intensif ou classique), installés sous serre de forçage, en pleine terre ou en conteneurs en pépinière.

Le parc à pieds-mères intensif est installé sous serre, où la plupart des paramètres environnementaux sont contrôlés. Le principal inconvénient de ce type de parc est le coût excessif des installations et de culture (serre, coûts énergétiques et d'entretien, fertilisation, irrigation, etc.); ce genre d'élevage ne peut être envisagé que pour des sources de graines extrêmement rares et pour lesquelles la production rapide du matériel végétal s'avère nécessaire. À l'inverse, le parc à pieds-mères semi-intensif est installé en serre non chauffée.

Le parc à pieds-mères classique est constitué de boutures de clones sélectionnés, mises en pleine terre sur un site fertile à proximité de la pépinière. L'irrigation et la fertilisation des pieds-mères peuvent être gérées selon l'espèce et le statut nutritionnel à atteindre avant le prélèvement des boutures. Pratiquement aucun paramètre climatique n'est contrôlé. La superficie, le nombre de pieds-mères et les modalités de production des boutures seront adaptés aux objectifs du programme de bouturage (reboisement industriel, espèces agroforestières à usages multiples, etc.).

Dans la pratique, l'ensemble des pieds-mères est renouvelé au moins tous les cinq ans. Les premières boutures provenant de l'ortet initial servent de pieds-mères; on y prélève des boutures dès que le développement de la partie aérienne et des nouvelles pousses est conforme aux critères de bouturage (longueur, teneur en eau des boutures, stade physiologique, etc.). Une fois enracinées, ces

boutures serviront à leur tour de pieds-mères. Pour éviter le vieillissement des pieds-mères, on peut aussi recourir au bouturage en cascade.

Dans certains pays et pour différentes essences résineuses, la population de pieds-mères en conteneurs est renouvelée à tous les deux ans environ, et chaque pied-mère n'est utilisé qu'une seule fois pour la récolte de boutures. Cette approche garantit l'utilisation d'un matériel très jeune et un enracinement maximal des boutures. Après la récolte des boutures et une ou deux saisons de croissance supplémentaires en pépinière, les pieds-mères eux-mêmes sont livrés au reboisement, ce qui permet de rentabiliser davantage l'utilisation de ce matériel génétique hautement productif.

6. Principales techniques de bouturage de rameaux

Les techniques de bouturage utilisées à l'échelle opérationnelle diffèrent selon la période, les espèces et l'état physiologique des boutures. On distingue trois types de bouturage en fonction de la technique de prélèvement et la nature des boutures (taille et diamètre des tiges) prélevées sur les pieds-mères : le bouturage herbacé, le bouturage semi-ligneux ou le bouturage ligneux.

6.1 Bouturage herbacé

Les boutures herbacées sont prélevées sur les parties jeunes des pieds-mères en pleine végétation. La date de prélèvement optimale pour les boutures herbacées se situe habituellement de la mi-juin à la mi-juillet, mais la récolte peut se faire pratiquement toute l'année sur des pieds-mères cultivés en serre et maintenus en croissance. Lorsque les boutures herbacées sont de bonne qualité, l'émission des racines commence bien avant le développement des bourgeons axillaires.

Le bouturage herbacé en masse de jeunes individus permet de multiplier végétativement, et à grande échelle, les semences d'élite provenant des croisements dirigés dont les parents ont montré leur performance en termes de productivité. Les boutures herbacées offrent de meilleures chances de réussite pour les espèces récalcitrantes au bouturage. L'optimisation de la longueur et de la surface foliaire des boutures font partie des facteurs de réussite du bouturage herbacé, car ils ont des effets importants sur les premières phases de l'enracinement (survie des boutures, initiation des racines, etc.). Par exemple, en l'absence des racines et selon les variables environnementales, une surface foliaire trop grande peut engendrer un

stress hydrique chez la bouture, retarder l'initiation des racines ou provoquer un dessèchement prématuré.

Le bouturage herbacé comprend trois principales phases : le prélèvement des boutures dans des parcs à pieds-mères, l'enracinement des boutures et la production de plants en pépinière forestière selon des techniques culturales adaptées (conteneur, surélévation et cernage, fertilisation, irrigation, etc.).

a) Mode opératoire

Les rameaux récoltés sur des jeunes pieds-mères ou sur des individus sélectionnés sur le terrain sont immédiatement mis dans un sac en plastique ou dans du papier humide afin d'éviter leur dessèchement. Ils sont ensuite mis dans une glacière ou entreposés au froid (4 °C).

Le choix des rameaux est déterminant; ceux-ci doivent être frais et exempts de maladies. Lors du prélèvement, la longueur des boutures varie de 12 à 15 cm, avec au moins 3 yeux dans le cas des feuillus. À la base, on pratique soigneusement une première coupe à 45°, juste en dessous d'une feuille ou d'un nœud, à l'aide de ciseaux bien aiguisés ou d'un sécateur, puis une deuxième entaille longue d'environ 1 à 2 cm sur un ou sur les 2 côtés, destinée à mettre à nu les tissus internes tels que l'assise cambiale. Cette pratique réduit sensiblement les risques de pourriture dans le substrat et permet l'élimination de la sécrétion gluante qui se forme à la base. C'est aussi une manière d'accroître la surface d'où s'initient les racines.

L'étape suivante, avant la mise en terre des boutures, consiste généralement à tremper la base des boutures dans une poudre commerciale d'auxine (hormone de bouturage), préalablement versée dans une coupelle d'environ 15 cm de diamètre. Ensuite, la bouture est secouée sur le bord du récipient afin d'éliminer tout excédent de poudre. La couche de poudre doit être régulière et fine.

Dans certaines pépinières, les boutures sont trempées pendant quelques secondes dans une solution de fongicide contenant 1 g/L de Rovral® avant d'être trempées dans une hormone de bouturage contenant généralement de l'AIB (0,5 à 1 %) sous forme de liquide, de poudre ou de gel.

À l'aide d'un manche d'outil, d'un pinceau ou d'un bâtonnet, on creuse des trous dans le substrat d'enracinement. Lors du repiquage, les boutures sont délicatement insérées dans des conteneurs ou des sachets en plastique polyéthylène préalablement remplis avec un mélange de tourbe et de terreau

de charbonnière, en veillant à ne pas enlever l'hormone. Après le repiquage des boutures, on doit bien arroser et bien remettre le substrat autour de la base des boutures, puis le tasser légèrement afin de supprimer les poches d'air.

La rhizogenèse est généralement favorisée par une ambiance saturée en humidité. Pour protéger les boutures des coups de soleil et des vents desséchants, on doit les placer dans un endroit très lumineux, mais à l'abri des rayons du soleil. On doit également maintenir un bon niveau d'humidité relative et une température, selon les essences et la surface foliaire, de 19 à 27 °C. La méthode la plus simple consiste à couvrir les boutures d'un sac de plastique transparent, qui jouera le rôle d'une mini-serre. En perforant ou en laissant quelques ouvertures dans le film de plastique, on peut réduire l'excès d'humidité qui se manifeste par la condensation de la vapeur d'eau sur les parois intérieures du sac. En aucun cas, le plastique ne doit être en contact direct avec les feuilles. Cette approche a donné d'excellents résultats. Bien arrosée lors de sa mise en terre, la bouture se maintient en atmosphère humide pendant plusieurs semaines, ce qui favorise la production de racines et limite le dessèchement et la pourriture des boutures.

Les racines se développent en 5 à 8 semaines. Les boutures enracinées se distinguent facilement des autres par leur croissance vigoureuse. Le plastique doit être enlevé progressivement, dès que de nouvelles feuilles apparaissent. Les boutures enracinées sont placées dans un endroit bien éclairé, mais à l'abri du rayonnement direct.

Le taux de réussite varie selon les espèces. Pour le chêne liège, il dépasse rarement 50 %, alors que pour l'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn, il peut atteindre 95 %.

b) Exemples de bouturage herbacé

(1) Cas des eucalyptus (*Eucalyptus sp.*)

Le genre *Eucalyptus* (*Eucalyptus sp.*) comprend environ 700 espèces et taxons. Il est représenté au Maroc par environ une centaine d'espèces.

Grâce à sa grande plasticité et à sa croissance rapide, l'eucalyptus est actuellement l'un des genres les plus plantés au monde, notamment dans le cadre de la production intensive de bois à courte rotation (5 à 10 ans selon les clones et le climat). Plusieurs pays ont développé des programmes d'amélioration génétique des eucalyptus (croisements dirigés, sélection génétique, bouturage et production de masse, etc.) qui répondent aux objectifs de leurs

stratégies d'intensification de la sylviculture des essences à croissance rapide (Figure 1-4).



Figure 1-4. a) plantation clonale d'eucalyptus au nord ouest du Maroc; b) rejets de souche après l'exploitation d'une plantation clonale d'eucalyptus.

(1-a) Principales utilisations des eucalyptus

L'introduction des eucalyptus au Maroc a commencé au stade expérimental dès le début des années 1920. À cause de leur croissance juvénile rapide et de leurs capacités d'adaptation aux différents types de sols (non fertiles, sablonneux, hydromorphes, etc.) et aux divers stress environnementaux (sécheresse, etc.), les eucalyptus ont été plantés sur plus de 13 000 ha dès la fin des années 1940, et elles s'étendent actuellement sur des zones représentatives de plusieurs conditions écologiques.

L'eucalyptus joue un rôle important dans l'économie forestière marocaine. Il compte pour 31 % de la production totale de bois de feu, 2 % de la production totale de bois d'œuvre, et 96 % de la production de bois d'industrie et de services. Les principaux secteurs utilisant le bois des eucalyptus sont :

- agriculture : construction de serres, tuteurage de certaines cultures maraîchères et fabrication de caisses d'emballage;
- habitat : coffrage, charpente, menuiserie, ameublement, perches utilisées essentiellement dans la construction rurale;
- mines : charbonnages du Maroc (CM) et l'Office Cherifien des Phosphates (OCP);
- construction navale : fabrication d'unités de pêche artisanale;
- industrie de la pâte à papier : l'usine de Cellulose du Maroc a été fondée en 1952 avec une capacité de production initiale de 12 000 tonnes. En 2010, la production a atteint un record de plus de 151 000 tonnes, dont la majorité est exportée; à cause de la situation mondiale du marché des pâtes à papier, cette unité industrielle a malheureusement cessé ses activités;
- industrie des panneaux de particules;
- industries pharmaceutique, cosmétique et des parfums : les eucalyptus fournissent, en plus du bois, d'autres produits à usages multiples. Les huiles essentielles extraites de la biomasse foliaire constituent l'une des principales sources naturelles du cinéole, encore appelé eucalyptol;
- apiculture : la plupart des espèces d'eucalyptus sont mellifères et contribuent à la production du miel à base d'eucalyptus. Le choix des espèces est diversifié (*E. camaldulensis*, *E. gomphocephala*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. cladocalyx*, *E. sideroxylon*, etc.), de sorte que la floraison étalée dans le temps garantit une abondance de fleurs pendant toute l'année. La production nationale de miel à base d'eucalyptus est en moyenne de l'ordre de 1 000 tonnes par an. Deux espèces (*E. camaldulensis* et *E. gomphocephala*) constituent l'essentiel (91 %) de la forêt d'eucalyptus exploitée à des fins apicoles. La période de floraison de l'*E. camaldulensis* s'étale de janvier à juin et d'octobre à décembre, tandis que celle de l'*E. gomphocephala* commence au mois d'août et se termine en octobre - novembre.

(1-b) Bouturage herbacé des eucalyptus

Les premiers succès de bouturage d'*E. camaldulensis* ont été obtenus par Franclet en 1956 au Maroc, puis en Tunisie en 1970. Les étapes de bouturage herbacé des arbres adultes ont été développées en 1974 au Centre Technique Forestier Tropical (Congo). C'est surtout à partir de 1975, que le bouturage a connu l'une de ses premières utilisations à grande échelle au Brésil.

Après cette période, les avancées réalisées dans les techniques de culture *in vitro* ont permis de développer et de raffiner la filière du clonage, du bouturage et du mini-bouturage.

Les principales étapes de bouturage herbacé des eucalyptus sont illustrées dans la Figure 1-5.

(2) Cas du chêne liège (*Quercus suber* L.)

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) occupe une place importante dans le patrimoine forestier marocain. Il joue un rôle capital dans la vie rurale traditionnelle, car il conditionne la plupart des activités agricoles et pastorales. Actuellement, la superficie occupée par le chêne liège au Maroc est estimée à 377 500 ha,

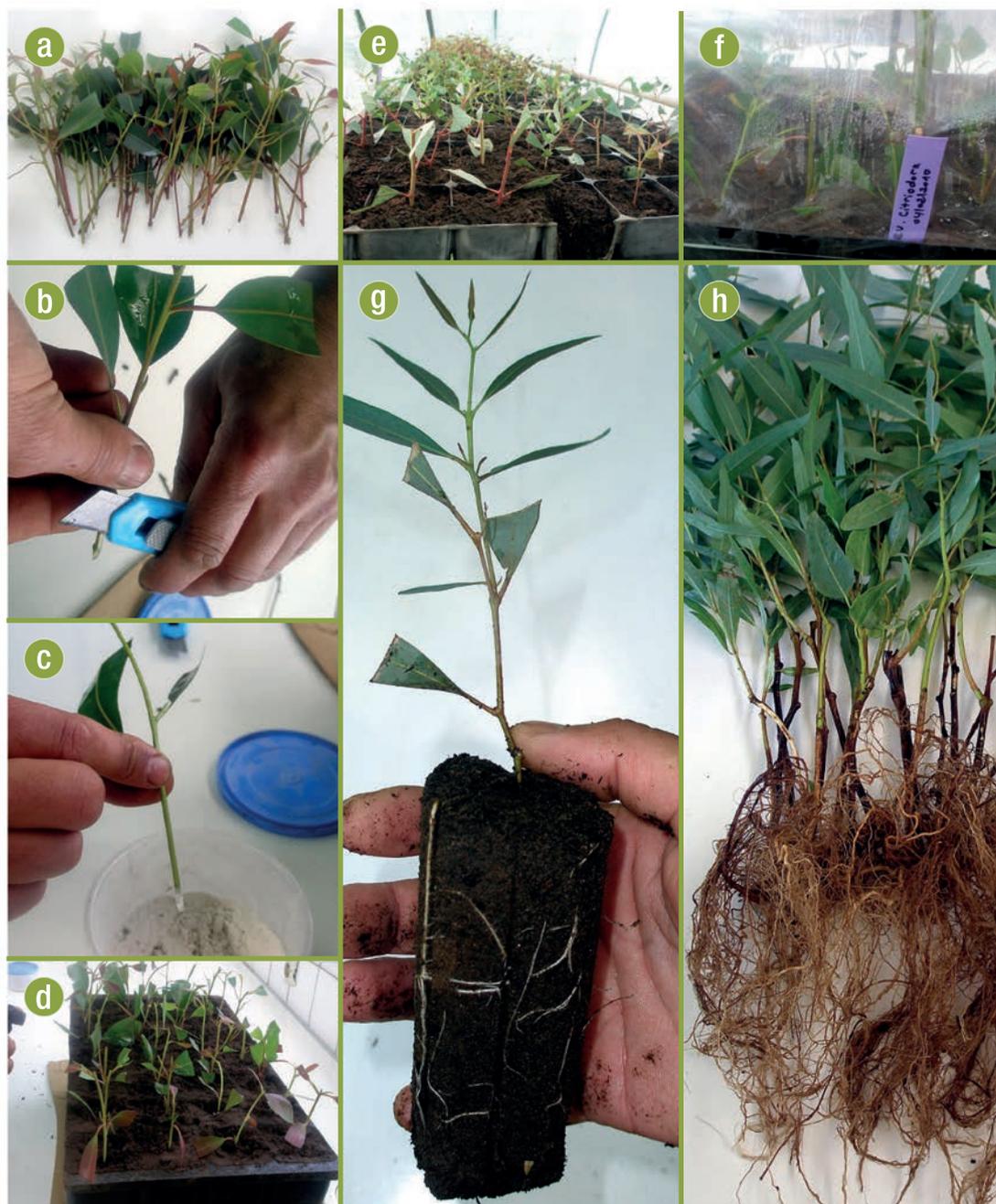


Figure 1-5. Principales étapes de bouturage herbacé chez l'eucalyptus. a) boutures effeuillées à la base; b) coupe de la partie basale; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) mise en terre de la bouture; e) aire de multiplication; f) bouture en mini-serre (milieu à l'étouffée); g) initiation et croissance de racines à travers la motte; h) boutures dotées d'un système racinaire bien développé.

soit 3 % de la superficie du domaine forestier (9 millions ha), ou 7,8 % de la superficie du domaine boisé, sans les nappes alfatières (5 millions ha).

Compte tenu des délais nécessaires à la floraison et de l'irrégularité de la production des glands à cause probablement des sécheresses répétées, le recours à la multiplication végétative du chêne liège peut permettre de : 1) créer des conservatoires (collections de clones, vergers à graines); 2) régulariser les approvisionnements en plants et 3) mettre rapidement à la disposition des reboiseurs les produits de l'amélioration génétique.

(2-a) Principaux atouts des subéraies marocaines

Sur les plans écologique et environnemental, les subéraies contribuent à la conservation des eaux et des sols et à la protection des agglomérations et infrastructures contre les risques d'ensablement. Elles abritent une faune et une flore très diversifiées.

Sur le plan socioéconomique, les subéraies marocaines génèrent, par la seule production de liège, l'équivalent de 200 M Dh/an (Dh=dirham), soit près de 40 % des recettes annuelles générées par la commercialisation des produits forestiers locaux. Elles approvisionnent 45 entreprises de récolte de liège et 12 unités industrielles de transformation et de valorisation de ce produit. Plus de 95 % de la production marocaine de liège est destinée à l'exportation. Les activités d'exploitation de bois et de liège génèrent environ 375 000 journées de travail par an (bois de feu : 20 000 st/an; liège : 117 591 st/an, st=stère).

Les subéraies abritent aussi une grande activité pastorale (production fourragère : 24 M UF/an, UF=unité fourragère) dont la valeur du produit en viande est équivalente à celle des produits en bois et liège. Les autres produits non ligneux des subéraies comprennent annuellement l'équivalent de 5 000 tonnes de glands doux, 50 tonnes de truffes et champignons et 2 000 tonnes de miel.

Bien que le Maroc abrite 15 % de la superficie mondiale des subéraies, il ne produit que 4 à 6 % du liège au monde. Devant cette situation, le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) soutient la reconstitution et la sauvegarde des subéraies grâce à plusieurs actions de développement axées principalement sur les plantations et la régénération assistée de 2 500 ha/an. La sélection de variétés performantes susceptibles de s'adapter au climat local et de produire un liège de qualité, suivie de leur multiplication par bouturage pour l'installation

de plantations clonales industrielles, constitue une avenue très prometteuse à cet égard. La reconstitution de la subéraie est réalisée par le reboisement avec des plants issus de glands provenant d'arbres sélectionnés, dans le respect de la diversité génétique (Figure 1-6).



Figure 1-6. a) glands de chêne liège; b) sélection des glands selon leur dimension; c) élevage des plants de chêne liège en pépinière; d) plantation de chêne liège; e) récolte de liège.

(2-b) Bouturage herbacé du chêne liège

Dans certains cas, des plants sont aussi produits à partir de boutures issues de génotypes sélectionnés (qualité du liège, résistance aux stress environnementaux biotiques et abiotiques, etc.).

Les principales étapes de bouturage herbacé du chêne liège sont illustrées dans la figure 1-7.



Figure 1-7. Principales étapes de bouturage herbacé chez le chêne liège. a) rameaux sur lesquels on prélève les boutures; b) coupe au niveau de la base de la bouture; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) repiquage de la bouture après ouverture de trous (1,5 à 2 cm de profondeur) dans le substrat d'enracinement; e) disposition des boutures dans le bac de multiplication; f) mini-serre (système à l'étouffée: bac de bouturage + arceaux + film transparent en plastique); g) croissance et développement des boutures; h) boutures herbacées dotées d'un système racinaire bien développé et montrant une nouvelle elongation des parties aériennes.

(3) Cas de l'if commun (*Taxus baccata* L.)

L'if appartient à la petite famille des Taxacées, qui comprend 5 genres et environ 15 espèces. Le genre *Taxus* est présent dans les régions tempérées et méditerranéennes de tout l'hémisphère nord. En Méditerranée, la seule espèce présente est l'if commun (*Taxus baccata* L.); elle n'y est jamais très abondante et ne pousse jamais en formations pures. L'espèce croît toujours à l'état de pieds disséminés dans les forêts humides, où elle cherche les sols ombragés profonds. Au Maroc, l'if commun est présent au Rif, au Moyen-Atlas et dans quelques stations du Haut-Atlas. Il préfère les zones de montagne, fraîches et humides, et s'associe au cèdre. Sa présence indique des stations de bonne productivité.

Malgré une tolérance exceptionnelle à l'ombre, c'est une essence peu compétitive dont la régénération naturelle est considérée comme de plus en plus difficile.

L'if est dioïque. Les fleurs des pieds mâles sont jaunâtres et produisent un pollen jaune au printemps. Les fleurs des pieds femelles sont verdâtres et forment des fruits charnus, rouge vif, les arilles (Figure 1-8). La chair du fruit est sucrée et n'est pas toxique, mais la graine, toxique comme tout le reste de la plante, n'est pas digérée par les animaux.



Figure 1-8. a-b) if commun en période de fructification; c) fruits immatures (bleus, en haut) et fruits matures (rouges, en bas); d) arilles récoltées; e) graines d'if; f) médicament à base d'extrait d'if.

Depuis plus de 15 ans, le paclitaxel (Taxol®) et certains autres composés de la famille des taxanes se sont montrés prometteurs pour lutter contre plus de 20 cancers et affections non cancéreuses. Des spécialistes du domaine (U.S. National Institute of Health) considèrent que le Taxol® est le médicament anticancéreux le plus important à avoir été commercialisé dans les 20 dernières années. Comme il est présent dans l'écorce de l'if, sa récolte tue l'arbre. Récemment, un précurseur du Taxol®, présent dans les feuilles, a été isolé par hémisynthèse. Il produit le Taxotère®, une molécule deux fois plus active que le Taxol®. Ceci a permis de réduire de beaucoup la biomasse nécessaire à la production de ce médicament.

Au Maroc, l'exploitation non raisonnée de l'if et son arrachage à cause de sa toxicité pour les animaux en parcours extensifs sont responsables de son déclin rapide. La fragmentation et l'éparpillement des petites populations ont aussi des effets néfastes sur la diversité génétique de l'espèce. L'if commun est

en danger d'extinction. Les peuplements, devenus rares, sont protégés en tant qu'habitats prioritaires en Europe. En France, l'if commun fait l'objet d'une réglementation interdisant « le ramassage ou la récolte et la cession de ces végétaux »; il figure sur la liste rouge des espèces menacées de disparition de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).

(3-a) Domestication de l'if commun

L'if commun est facile à bouturer. La sélection, le bouturage et la mise en culture de sujets possédant une capacité de produire de la biomasse, et dont les teneurs en taxanes sont adaptées aux besoins, permettront d'obtenir des retombées économiques importantes.

(3-b) Bouturage herbacé de l'if commun

Les principales étapes de bouturage herbacé de l'if commun sont illustrées dans la figure 1-9.

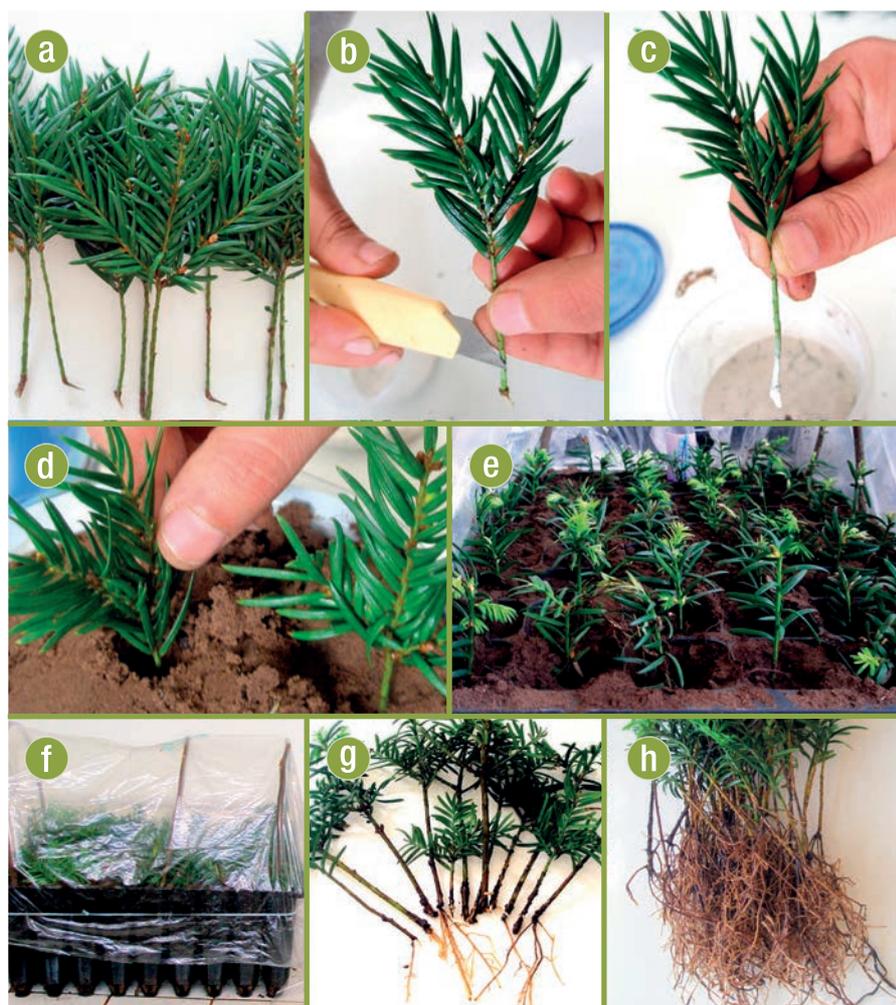


Figure 1-9. Principales étapes du bouturage herbacé chez l'if commun. a) boutures effeuillées à la base; b) coupe à la base de la bouture; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) repiquage dans le substrat d'enracinement; e) mise en place des boutures; f) mini-serre (système à l'étouffée); g) début d'enracinement des boutures; h) boutures herbacées bien enracinées.

(4) Cas du thuya de Berbérie
(*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.)

Le thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.) est une espèce forestière souvent marginalisée, malgré le rôle qu'elle joue sur les plans écologique et socioéconomique. Actuellement, la superficie couverte par le thuya de Berbérie au Maroc est estimée à 565 800 ha, soit 6 % de la superficie forestière totale.

(4-a) Principales caractéristiques et rôles des tétraclinaies marocaines

Le thuya de Berbérie joue un rôle considérable dans la protection des sols contre l'érosion éolienne et hydrique. En effet, cette essence contribue significativement à la stabilisation des dunes d'Essaouira et à la protection des sols dans les régions montagneuses.

Les tétraclinaies abritent une flore et une faune très diversifiées et ont un rôle très important dans la vie économique et sociale des populations riveraines. Le travail, principalement du bois des loupes de thuya (Figure 1-10), constitue une opération économique importante, aussi bien par le nombre de personnes qui le pratiquent (environ 1 700 ouvriers dont 450 spécialistes, les mâalems) que par l'importance des recettes qu'il génère (de l'ordre de 4 millions de Dh/an).

La gomme du thuya de Berbérie, exportée à l'étranger en totalité, est utilisée dans la fabrication de vernis de luxe et dans l'industrie pharmaceutique.

La production fourragère des tétraclinaies est estimée à 95 millions d'unités fourragères, soit 6,2 % de l'apport forestier en fourrage. Ceci représente environ 700 000 Dh/an.

Les tétraclinaies abritent une grande variété de plantes de la famille des labiées (thyms, armoises, lavandes, etc.), ce qui leur donne un rendement élevé en miel d'une excellente qualité.

(4-b) Dégradation des tétraclinaies et éléments de solution

Soumises aux actions conjuguées d'une exploitation abusive, d'un parcours intense, du gemmage et des incendies, les tétraclinaies présentent actuellement un faciès très dégradé. En comparant l'aire actuelle de répartition avec celle de la carte phytogéographique, on note un recul alarmant du thuya de Berbérie dans son aire naturelle dans tout le pays, depuis les années 1950. Des études ont montré que le secteur artisanal accuse un large déficit dans l'approvisionnement en matière première (madiers et loupes).

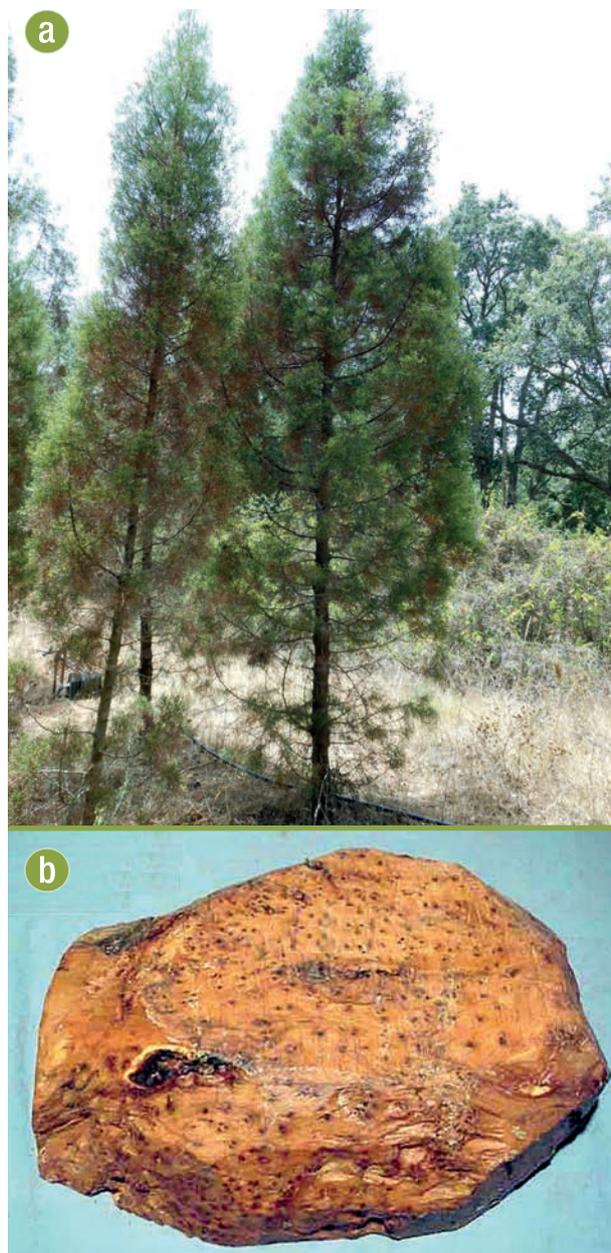


Figure 1-10. a) Thuyas de Berbérie adultes (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.); b) loupe de thuya issue de la souche dont les dimensions varient selon l'arbre.

(4-c) Bouturage herbacé du thuya de Berbérie

Compte tenu des caractéristiques botaniques, physiologiques et écologiques du thuya de Berbérie d'une part, et de son intérêt social et économique croissant d'autre part, la seule voie pour inverser cette tendance consiste à sélectionner des individus ayant la capacité de produire des loupes (matériau

prisé par les artisans) et de les multiplier par voie végétative (Figure 1-11), avec l'objectif d'installer des plantations clonales capables de fournir à moyen et à long terme un bois de qualité et en quantité suffisante.

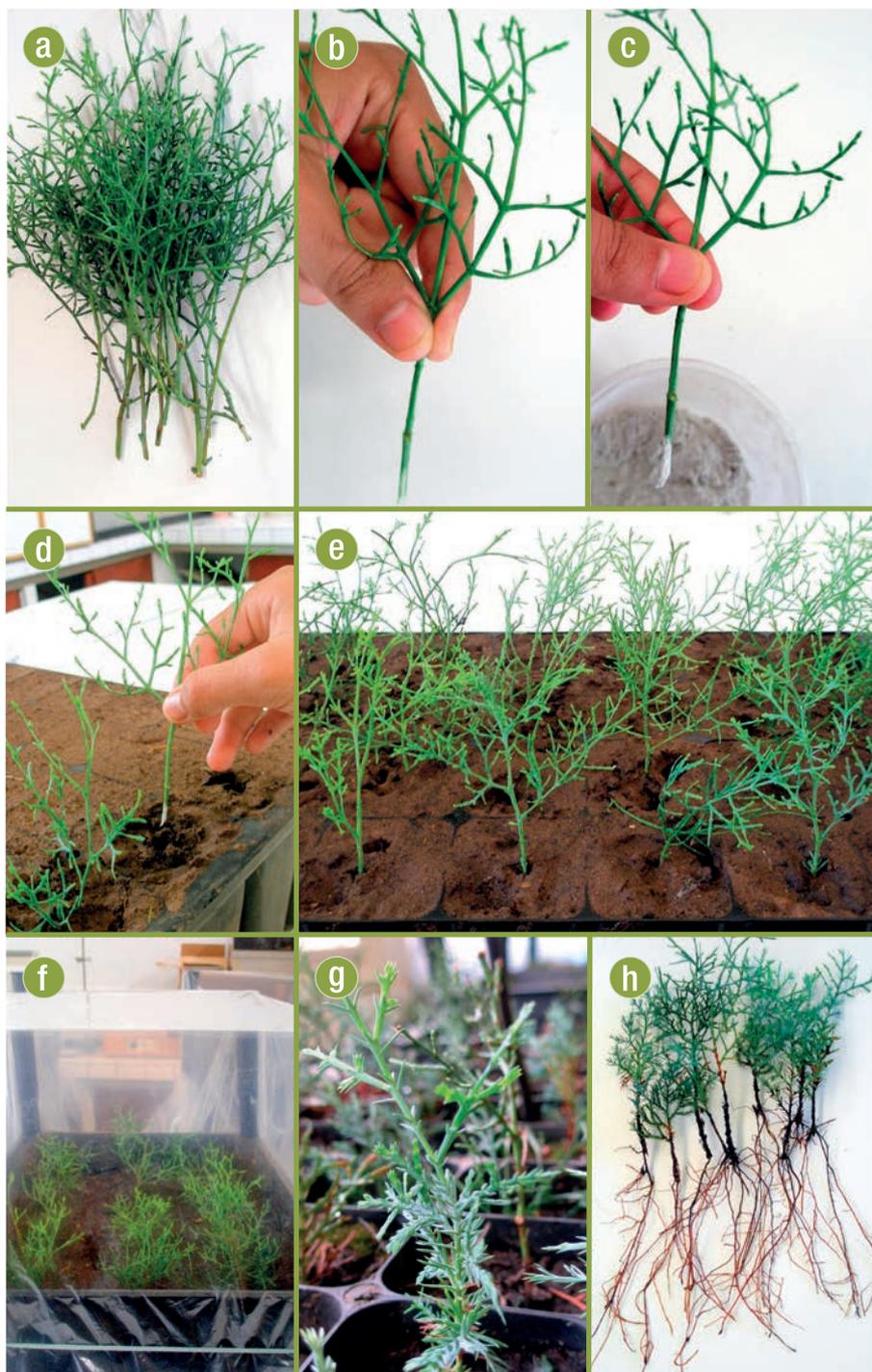


Figure 1-11. Principales étapes du bouturage herbacé chez le thuya de Berbérie. a) boutures effeuillées à la base; b) coupe de la base; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) repiquage dans le substrat d'enracinement; e) mise en place des boutures; f) mini-serre; g) évolution des boutures (débournement des bourgeons et élongation); h) boutures herbacées bien enracinées.

(5) *Cas de l'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels.)*

L'Arganier est une espèce endémique du sud-ouest marocain où il couvre une superficie de plus de 871 200 ha. Son aire de répartition principale s'étend entre l'embouchure de l'oued Tensift, au nord, et celle de l'oued Souss, au sud.

Des essais d'introduction ont été réalisés avec succès un peu partout à oued Cherrat, dans la forêt de Mkhenza et dans la région de Marrakech, ainsi que dans d'autres pays comme l'Algérie, la Syrie, le Mexique et l'Australie.

(5-a) *Particularités écologiques et agroforestières de l'arganier*

L'écosystème de l'arganeraie a le statut de réserve de biosphère, car il constitue un rempart contre la désertification. L'arganeraie joue un rôle vital dans l'équilibre écologique et la régulation du cycle de l'eau dans une zone aride où les apports sont faibles (Bassin de Souss Massa : 696 Mm³/an, soit 4 % des apports à l'échelle nationale). L'arganier résiste aux stress environnementaux les plus sévères ainsi qu'au broutage aérien des chèvres et aux exploitations irrégulières pratiquées par les populations riveraines.

Le système racinaire puissant de l'arganier maintient le sol et permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne qui menace de désertification une bonne partie de la région. De plus, de nombreux organismes vivants (faune, flore et microflore) sont directement liés à la présence de l'espèce.

L'arganier est une espèce « miracle » autour de laquelle s'échafaude la vie socioéconomique des populations riveraines. La population vivant dans l'arganeraie est estimée à 6 millions d'individus, soit environ 20 % de la population marocaine (création d'emploi : 7 millions de JT/an, JT=jour travail); organisation de plus d'une centaine de coopératives; bois d'énergie : 4 tonnes/ménage/an, soit 15 % des prélèvements à l'échelle nationale). L'arganeraie assure également une production de 174 millions UF, soit 11 % de la production nationale des parcours forestiers. Elle offre un paysage riche et diversifié doté d'un potentiel écotouristique et de loisirs exceptionnel. L'huile d'argan (Figure 1-12) a des propriétés diététiques, médicinales et cosmétiques très recherchées sur le marché international (5 000 t/an de noix d'argan, avec un potentiel de production de 32 000 t/an).



Figure 1-12. a) Arganier adulte sélectionné; b) forêt d'arganiers; c) branche d'arganier en fruits (noix d'argan); d) graines d'arganier; e) huile d'argan en vente sur le marché; f) mélange de l'huile d'argan avec des amandes broyées pour préparer l'amlou, une pâte à tartiner traditionnelle berbère.

Les ressources génétiques de l'arganier font partie de celles couvertes par le champ d'application du protocole de Nagoya. Malheureusement, l'arganeraie se dégrade rapidement (plus de 2 000 ha/an), sous l'effet de plusieurs facteurs, notamment l'agriculture intensive, les droits d'usage et de jouissance particuliers à cet écosystème, le ramassage des noix, le pastoralisme, etc. Ces facteurs ne permettent pas de garantir l'installation d'une régénération naturelle.

Compte tenu de ses caractéristiques botaniques, physiologiques et écologiques d'une part, et de son intérêt social et économique croissant d'autre part, l'arganier est l'arbre d'avenir du Sud-Ouest marocain. Bien qu'il soit menacé dans son aire d'origine, des efforts sont actuellement déployés par le Haut Commissariat des Eaux et Forêts et de Lutte contre la Désertification pour assurer sa conservation et pour mettre en œuvre un programme de reboisement propre à cette essence. Dans ce contexte, la sélection et la multiplication de génotypes ayant la capacité de s'adapter aux conditions climatiques de la région, de croître rapidement et de produire une huile de qualité en quantité suffisante, constituent un créneau très prometteur. L'objectif est, d'une part, de domestiquer l'espèce (culture intensive ou en mélange) en repérant des populations originales quant à leur diversité génétique, et d'autre part, de constituer des plantations ayant le double rôle de conservation des ressources génétiques et de production du matériel végétal capable de s'adapter aux conditions climatiques futures. Ce matériel sera utilisé pour reconstituer l'arganeraie et pour établir

des plantations de grande valeur ajoutée à vocation agro-industrielle, en zones arides et semi-arides, dans le cadre des stratégies nationale et régionale du Maroc en matière de développement durable. Par exemple, d'ici 2020, l'agence nationale de développement des zones oasiennes et de l'arganier (ANDZOA) prévoit créer 5 000 ha de vergers d'arganier (nouvelles plantations sur des terrains agricoles) et de réhabiliter 200 000 ha d'arganeraies. L'objectif est de réaliser une augmentation de 150 % de la production nationale d'huile d'argan.

(5-b) Bouturage herbacé de l'arganier

L'approche québécoise de bouturage herbacé a été adaptée avec succès à l'arganier (Figure 1-13). Tout d'abord, les pieds-mères sont produits à partir de semences récoltées sur des arbres sélectionnés pour leur haute valeur génétique (qualité de noix, production d'huile, etc.). L'utilisation de pieds-mères jeunes (2 à 3 ans) améliore l'enracinement des boutures (Figure 1-13a). Les pieds-mères sont produits selon des régies de culture optimales (fertilisation, irrigation, etc.). Par exemple, lors de leur culture, les pieds-mères reçoivent 146 mg d'azote, 96 mg de potassium et 21 mg de phosphore sur une période de 2 ans. Les boutures sélectionnées (5 à 6 cm de longueur; teneur foliaire en azote : 1,5 à 1,8 %) sont insérées dans des conteneurs de volumétrie très réduite (*IPL Inc.*, modèle 126-25 : 126 cavités de 25 cm³/cavité) dont les cavités sont remplies d'un substrat à base de tourbe et de perlite (50 %, v/v) ou de tourbe et de vermiculite (80 %/20 %, v/v) (Figure 1-13b-c).



Figure 1-13. Principales étapes du bouturage semi-ligneux chez l'arganier, basé sur l'expertise de bouturage développée au Québec. a) production de pieds-mères (à partir de semences sélectionnées) selon des techniques culturales optimales (substrat, fertilisation, irrigation, etc.); b-c) repiquage dans des conteneurs de volumétrie très réduite (*IPL* 126-25; 126 cavités de 25 cm³/cavité) dont les cavités sont remplies de substrat (50 % tourbe : 50 % perlite); d) enracinement des boutures dans des enceintes (mini-serre) placées en serre, où les variables environnementales sont bien contrôlées (humidité relative, déficit de pression de vapeur, etc.); e-f) boutures semi-ligneuses bien enracinées, transplantées dans des conteneurs plus gros choisis selon le gabarit de plant recherché.

Les boutures sont trempées pendant 5 secondes dans une solution de 1 000 ppm d'AIB. Les conteneurs remplis de boutures sont mis dans des enceintes (mini-serres; figure 1-13d) placées dans une serre où l'on contrôle les variables environnementales (25 °C le jour et 18 °C la nuit; photopériode de 18 h). Une ombrière est installée au-dessus des mini-serres. Pour contrôler l'humidité relative, chaque enceinte contient, au fond du bac, une petite couche d'eau d'une hauteur de 1,5 à 2 cm.

La réussite de l'enracinement des boutures de l'arganier, aussi bien à l'échelle expérimentale qu'opérationnelle, repose sur le contrôle du DPV, qui varie en fonction de la température et de l'humidité relative dans l'enceinte du bouturage. Ainsi, avec cette approche, le DPV à l'intérieur des enceintes demeure inférieur à 1 kPa pendant toute la phase d'enracinement, ce qui est idéal pour l'enracinement des boutures (Figure 1-13e) et la production de plants de bonne qualité morpho-physiologique (Figure 1-13f).

6.2 Bouturage semi-ligneux

Les boutures semi-ligneuses commencent à subir un début d'aoûtement et d'endurcissement accompagnés d'une augmentation de leur teneur en matière sèche. La période optimale pour le prélèvement des boutures est relativement courte et bien définie; ces opérations s'effectuent généralement au printemps, juste avant le redé-

marrage, c'est-à-dire fin mars début avril, ou à la fin de la saison de croissance. Cette technique est largement utilisée pour multiplier les arbres à feuillage persistant ainsi que les conifères à feuilles plates (thuya de Berbérie, *Taxus*, etc.).

a) Mode opératoire

L'habillage (suppression des feuilles du bas de la tige pour n'en garder que 2 à 4 à l'extrémité, ou coupe d'une partie du limbe des feuilles) joue également un grand rôle, notamment si l'on ne dispose pas d'installations spécialisées. En supprimant une partie du limbe des feuilles, on diminue significativement les pertes en eau, ce qui améliore les chances de survie des boutures avant leur enracinement.

La période idéale de la fin août au début octobre, est celle où les jeunes pousses passent de l'état herbacé (feuillage vert et tendre) au stade semi ligneux (aoûtement, arrêt de croissance et formation des bourgeons).

b) Exemples de bouturage semi-ligneux

(1) Cas de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels.)

La comparaison des différents types de boutures chez l'arganier a montré que les rameaux à épine terminale, herbacés ou lignifiés, sont difficiles à bouturer. Par contre, les rameaux semi-lignifiés avec au moins un bourgeon, et d'une longueur de 9 à 12 cm, ont donné un meilleur enracinement (Figure 1-14).

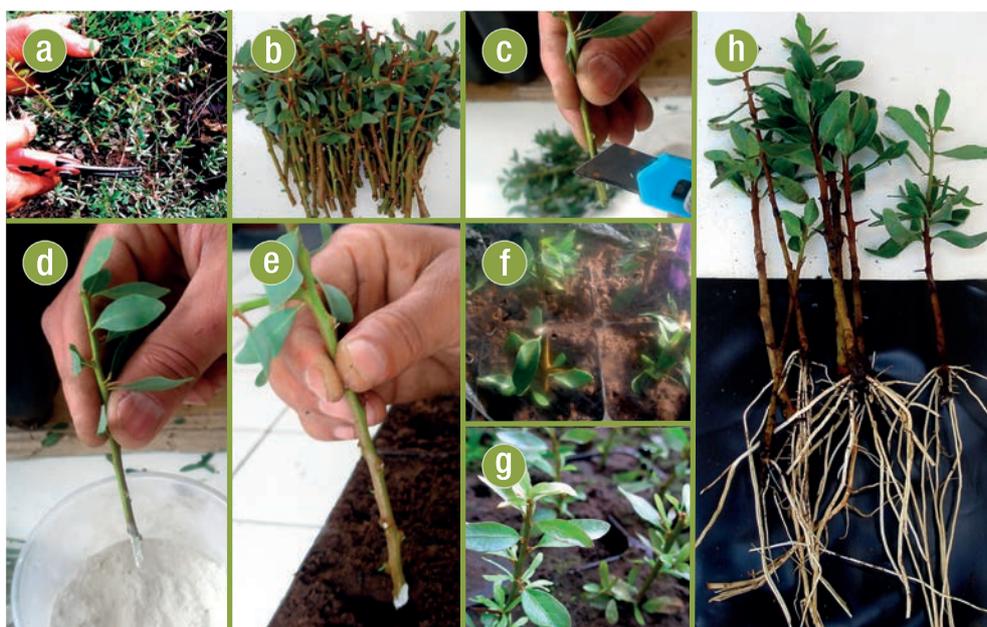


Figure 1-14. Principales étapes du bouturage semi-ligneux chez l'arganier. a) récolte de boutures sur un pied-mère; b) boutures effeuillées à la base; c) coupe de la partie basale; d) bouture trempée dans la poudre (hormone de bouturage); e) mise en terre de la bouture; f) boutures en mini-serre (milieu semi-confiné); g) développement des pousses; h) boutures racinées.

(2) Cas des pins (*Pinus* sp.)

Trois espèces de pins forment des peuplements naturels au Maroc : le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), le pin maritime avec ses 2 variétés, le pin maritime de la péninsule ibérique (*Pinus pinaster* subsp. *hamiltoni* var. *iberica*), et le pin maritime de montagne (*Pinus pinaster* subsp. *hamiltoni* var. *magrebiensis*), et finalement, le pin noir de l'Afrique du Nord (*Pinus clusiana* var. *mauretana*). Ces espèces couvrent environ 82 000 ha. Le pin noir et le pin maritime de la péninsule ibérique n'existent au Maroc que dans le Rif occidental. Le pin d'Alep et le pin maritime de montagne, quant à eux, forment des petits peuplements dans le Rif, le Moyen Atlas et le Haut Atlas. À ces peuplements naturels s'ajoutent d'importants boisements sur une surface d'environ 210 000 ha.

En vue de satisfaire le marché national en bois d'œuvre et d'industrie et pallier le déficit de la balance commerciale des produits ligneux, le Plan Directeur des Reboisements prévoit reboiser 500 000 ha en 10 ans, dont 320 000 ha en plantations de production.

Le potentiel écologique des pins pour le reboisement au Maroc a motivé l'élaboration d'un programme d'amélioration génétique et l'installation d'un réseau de plantations comparatives de provenances et de descendances. Les espèces de pin concernées par les travaux d'amélioration génétique au Centre de recherche forestière sont : *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Pinus brutia*, et *Pinus canariensis*, mais ce sont surtout les deux premiers qui font l'objet de tests de bouturage et de greffage.

Les caractères étudiés concernent aussi bien l'adaptation que la croissance. Le programme de recherche et développement actuel en matière d'amélioration génétique des pins a pour objectif : 1) d'assurer la productivité maximale des plantations, et 2) d'améliorer la qualité des peuplements, en vue d'obtenir des rendements satisfaisants en bois de qualité. Toutes les techniques forestières, y compris la multiplication végétative, ont été utilisées pour répondre à ces objectifs.

Comme pour les eucalyptus, l'une des stratégies d'amélioration génétique passe par la sélection des arbres-plus (Figure 1-15) et la multiplication de ceux-ci par bouturage (Figure 1-16) pour constituer des plantations clonales.



Figure 1-15. a) arbre-plus de pin maritime sélectionné à Mechraa el Kettan (Mamora, Maroc); b) élevage de plants de pin maritime (*Pinus pinaster*) dans des portoirs ou conteneurs surélevés; c) performance de la provenance Leiria du pin maritime (*Pinus pinaster*); d) croissance en hauteur de la descendance Leiria 234.

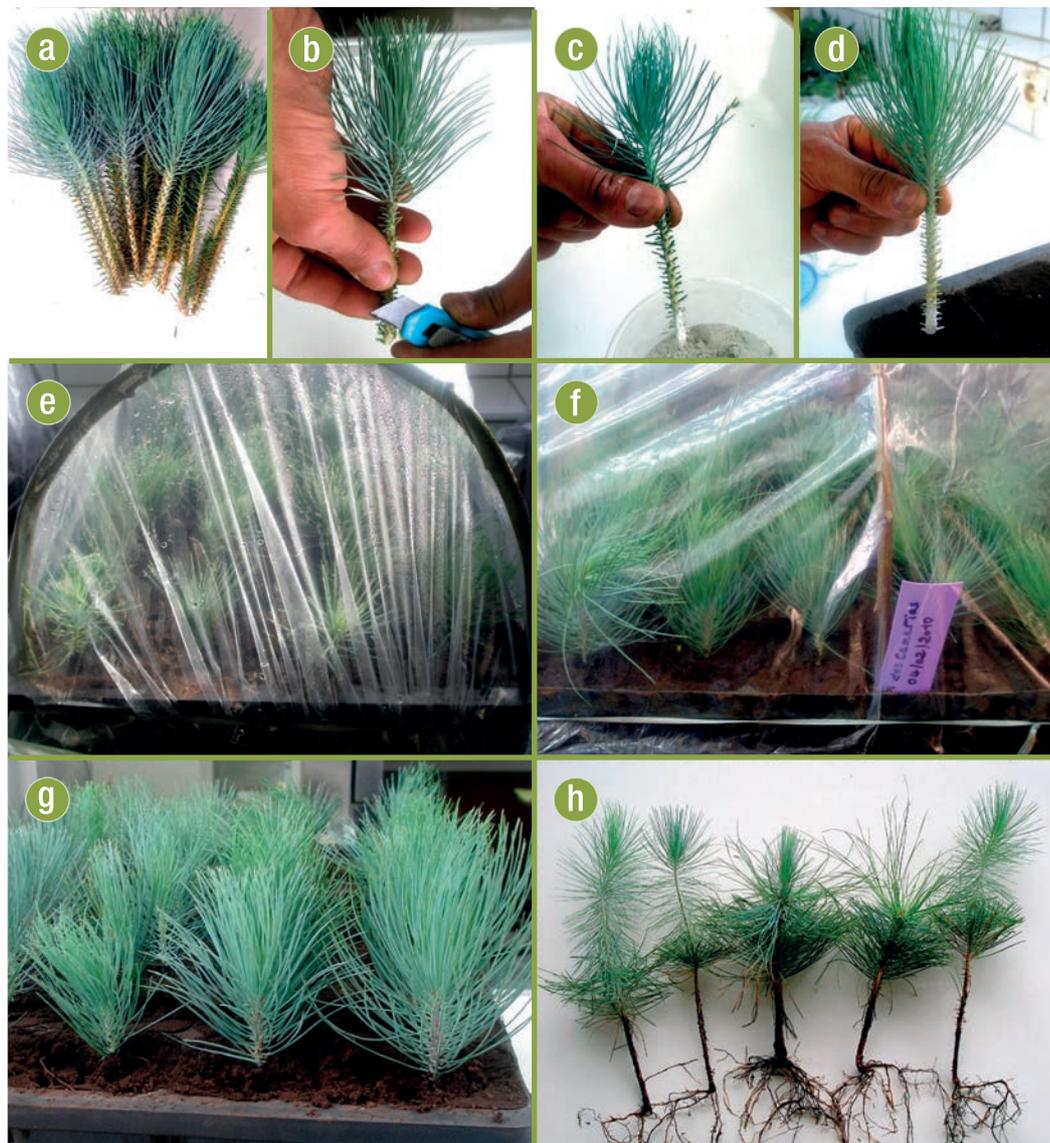


Figure 1-16. Principales étapes du bouturage semi-ligneux chez les pins. a) boutures de pin des canaries (*Pinus canariensis*) effeuillées à la base; b) coupe oblique à la base de la bouture; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) repiquage dans le substrat d'enracinement; e) boutures en mini-serre; f) bac de multiplication étiqueté; g) développement des boutures; h) boutures semi-ligneuses enracinées.

(3) Cas du chêne liège (*Quercus suber* L.)

Les principales étapes de bouturage semi-ligneux du chêne liège sont illustrées dans la figure 1-17.



Figure 1-17. Principales étapes du bouturage semi-ligneux chez le chêne liège. a) rameaux récoltés dans un parc à pieds-mères; b) coupe de la partie basale (la partie apicale encore herbacée est éliminée, et la partie semi-ligneuse est tronçonnée en plusieurs boutures; les feuilles basales sont enlevées, et les limbes des feuilles restantes sont réduits de moitié); c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) repiquage dans le substrat d'enracinement; e) disposition des boutures dans le bac de multiplication; f) boutures en mini-serre; g) développement des boutures; h) boutures semi-ligneuses enracinées.

6.3 Bouturage ligneux

Les boutures ligneuses sont généralement des boutures de rameaux bien aoûtés et lignifiés. Le stade de prélèvement optimal pour ces boutures est le printemps, juste avant le débourrement des bourgeons. Cela correspond, selon les années, à la mi-mars ou à la mi-avril. Toutefois, les boutures peuvent aussi être récoltées sur des rameaux dormants, à l'automne ou en hiver, pendant le repos de la végétation, et conservées en jauge ou au froid jusqu'à leur utilisation. Pour un bouturage dormant et pour une longue durée d'entreposage au froid, la conservation des boutures pourra se faire à -2 °C pendant 3 à 4 mois.

La plupart des boutures ligneuses mesurent environ 20 cm de long et portent de 2 à 5 yeux chez les essences feuillues. On évite généralement de prendre la partie basale du rameau ainsi que l'apex, souvent mal aoûté. La coupe doit être faite au sécateur désinfecté ou à l'aide d'un couteau tranchant, en biais sur la face opposée au bourgeon.

a) Mode opératoire

Comme dans le bouturage semi-ligneux, les rameaux récoltés sur les arbres sélectionnés sur le terrain sont immédiatement entreposés au froid dans un sac en plastique ou dans du papier humide afin d'éviter leur dessèchement.

Le choix des rameaux est déterminant; ceux-ci doivent être frais, sans maladie, de préférence aoûtés (rigides), vigoureux et aux bourgeons bien formés. Le succès du bouturage dépend entre autres du stade de développement atteint par les boutures lors du prélèvement, et se traduit surtout par leur degré de lignification. Les modalités de bouturage ligneux sont similaires à celles du bouturage semi-ligneux.

L'enracinement des boutures ligneuses peut se faire dans des mini-serres, dans un tunnel recouvert de plastique ou sous ombrière. Les boutures sont généralement placées dans un endroit bien éclairé, mais à l'abri d'un rayonnement direct.

Le développement des racines a lieu 3 à 4 semaines après la mise en terre. Les boutures enracinées se distinguent nettement par leur croissance vigoureuse.

b) Exemples de bouturage ligneux

(1) Cas du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.)

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), dont le fruit est connu sous le nom de pain de Saint-Jean, est originaire des rives orientales de la Méditerranée. De là, il s'est étendu dans d'autres régions aux conditions climatiques similaires (Europe, États-Unis d'Amérique, Afrique du Nord, Afrique du Sud et même en Australie). Les conditions climatiques favorables au caroubier sont celles du bioclimat thermo-méditerranéen, avec des hivers doux et des étés longs et secs.

Le caroubier est une espèce dioïque qui préfère des sols profonds fertiles et perméables et redoute les sols compacts, imperméables ou humides. Il supporte fort bien des sols salins contenant une concentration de NaCl allant jusqu'à 3 %. Il peut également croître dans des sols caillouteux, arides et chauds, pourvu que le pourcentage du calcaire ne soit pas très faible. Son système racinaire très puissant lui permet de réussir dans les sols pauvres et secs, à condition que ceux-ci soient perméables.

Les jeunes plants de caroubier sont assez sensibles au froid. Le caroubier résiste bien à la sécheresse et se comporte bien sur des terrains non irrigués. La production des gousses est généralement proportionnelle à la quantité d'eau reçue par les arbres.

En matière de reboisement et d'ajustement de l'offre à la demande, le caroubier présente des atouts socioéconomiques et écologiques tout à fait exceptionnels. Cette espèce se caractérise en effet par une adaptation aux conditions climatiques difficiles. Elle colonise les zones marginales, arides et semi-arides et elle peut être cultivée comme une essence agroforestière en association avec des cultures intercalaires (Figure 1-18a). Le caroubier se distingue par ses rendements en gousses exceptionnels (Figure 1-19b) et par la grande polyvalence de l'utilisation de ses produits.

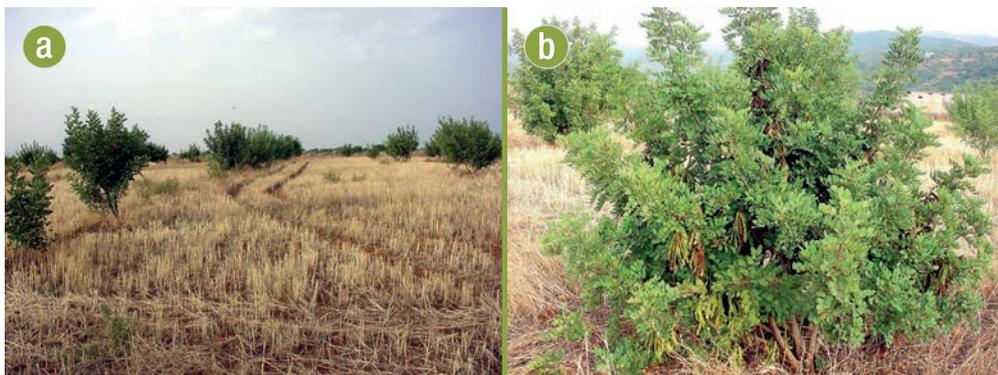


Figure 1-18. a) Culture intercalaire de caroubier et de blé à El ksiba (Maroc); b) caroubier en fruits dans une plantation agroforestière.



Figure 1-19. a) caroubier adulte sélectionné; b) branches fructifères; c) pulpe; d) graines.

Le caroubier peut être planté pour des objectifs de protection, de production et de récréation. Cette espèce agro-sylvo-pastorale présente un intérêt croissant à cause de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son rôle important dans la lutte contre l'érosion grâce à son système racinaire très développé, de son bois de qualité, mais surtout, grâce à ses fruits (Figure 1-19). Ceux-ci font l'objet de transactions commerciales dont la valeur annuelle dépasse de loin celle de la production ligneuse. Dans certaines conditions, le profit et les recettes engendrés par cette culture peuvent être nettement supérieurs à ceux d'autres spéculations agricoles, notamment la céréaliculture.

La production mondiale annuelle de gousses de caroube est estimée à 310 000 tonnes sur environ 200 000 ha, soit 1,55 tonne/ha. Le Maroc est le 4^e producteur mondial, avec 31 000 tonnes. En raison

de la demande mondiale grandissante pour ses fruits, le caroubier bénéficie d'un regain d'intérêt dans plusieurs pays méditerranéens.

Cependant, l'hétérogénéité du matériel végétal, le problème d'identification du sexe des arbres avant la floraison et le délai nécessaire à l'entrée en production constituent des obstacles majeurs au développement de cette culture. Pour pallier ces contraintes, un programme de sélection et d'amélioration génétique de cette espèce a été mis en place, avec l'objectif de créer des variétés performantes pour le rendement et la qualité des produits, et celui de contribuer à la conservation *in situ* et *ex situ* des ressources génétiques.

Les principales étapes de bouturage ligneux chez le caroubier sont illustrées dans la figure 1-20.

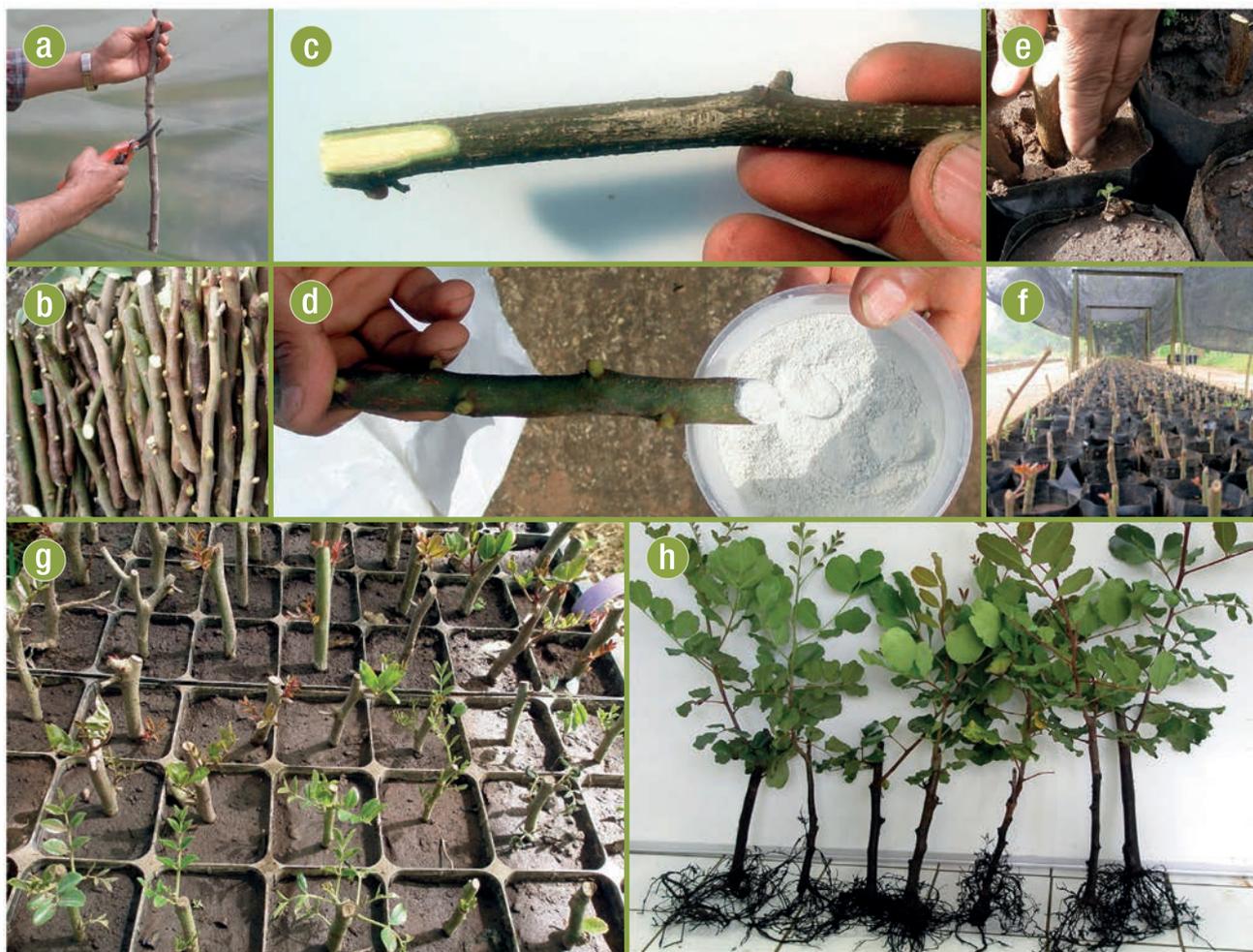


Figure 1-20. Principales étapes du bouturage ligneux chez le caroubier. a) coupe de boutures à partir de rameaux effeuillés; b) boutures sélectionnées; c) coupe pour mettre à nu les tissus internes; d) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); e) repiquage des boutures dans le substrat d'enracinement; f) boutures sous ombrière; g) initiation des feuilles chez les boutures après deux semaines d'enracinement; h) boutures ligneuses enracinées.

(2) Cas de l'if commun (*Taxus baccata* L.)

Le bouturage ligneux a été testé avec succès chez l'if commun avec un bon résultat d'enracinement (Figure 1-21).



Figure 1-21. Principales étapes du bouturage ligneux chez l'if commun. a) boutures dont les aiguilles sont enlevées à la base; b) coupe de la base de la bouture; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) bouture prête à être repiquée; e) développement des pousses; f) boutures ligneuses enracinées.

(3) Cas du chêne liège (*Quercus suber* L.)

Contrairement à l'if commun, la plupart des boutures ligneuses de chêne liège ont eu un enracinement faible (Figure 1-22).



Figure 1-22. Principales étapes du boutrage ligneux chez le chêne liège. a) rameaux choisis et coupés; b) coupe de la base de la bouture; c) trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); d) bouture prête à être repiquée; e) mini-serre; f) développement des bourgeons pendant l'enracinement; g-h) boutures ligneuses enracinées.

7. Principales recommandations pour la réussite du bouturage à l'échelle opérationnelle

Pour réussir le bouturage, le pépiniériste doit tenir compte de plusieurs considérations et précautions de base. Ainsi, il doit :

- prélever des boutures sur des pieds-mères ou des arbres sains, afin de favoriser l'enracinement des boutures et d'éviter la propagation des maladies;
- prélever les boutures le plus près possible des racines de l'arbre;
- utiliser des boutures de 12 à 15 cm de longueur, car elles se manipulent facilement et permettent une productivité maximale;
- éviter de récolter des boutures sur des branches trop vieilles ou trop jeunes, trop grosses ou trop petites;
- après le prélèvement, mettre les boutures dans des sacs de polyéthylène humides à l'intérieur pour éviter leur dessèchement;
- mettre les sacs de boutures à l'ombre et les manipuler avec soin (éviter de les jeter par terre et de les écraser);
- lors du transport sur de longues distances, mettre les sacs de boutures dans des glacières tout en évitant leur contact direct avec la glace;
- minimiser les délais entre le prélèvement des boutures et leur bouturage;
- bien nettoyer les outils en les stérilisant avec de l'alcool ou de l'eau de javel diluée;
- se servir d'un sécateur ou d'un couteau tranchant pour le prélèvement des boutures;
- couper la bouture juste au-dessous d'un œil (bourgeon), car celui-ci va émettre très facilement des racines;
- si la tige porte beaucoup de feuilles, réduire leur limbe, car la bouture continuera à transpirer énormément et s'affaiblira. Couper soigneusement les feuilles excédentaires pour ne pas abîmer les bourgeons;
- transplanter la bouture dans un substrat aéré, léger et poreux. Le substrat doit maintenir une teneur en eau suffisante, mais sans excès;

- arroser régulièrement les boutures. Les plants ne supportent pas la sécheresse, ne serait-ce qu'une fois (éviter la fanaison et les pourritures);
- placer les boutures dans des installations appropriées choisies selon les objectifs du pépiniériste (systèmes de brumisation intermittente, à contrôle statique ou dynamique, brouillard, etc.) pour prévenir leur dessèchement et favoriser leur enracinement;
- contrôler la température, l'humidité relative de l'air et le déficit de pression de vapeur pour diminuer les pertes d'eau des boutures par transpiration;
- brumiser de façon à favoriser la présence d'un film d'eau sur la surface foliaire;
- sevrer progressivement les boutures pendant une, deux ou trois semaines, en réduisant progressivement l'humidité relative de l'air, l'arrosage et l'ombrage des plants.

8. Conclusion et perspectives d'avenir

Le succès du bouturage et surtout, le comportement ultérieur des arbres qui en dérivent, dépendent de nombreux facteurs (qualité et origine génétique du matériel végétal, contrôle de l'ambiance de bouturage, techniques et régies de culture en pépinière, etc.). Néanmoins, l'âge des arbres ou des pieds-mères constitue le principal facteur de réussite du bouturage. D'une manière générale, le pourcentage d'enracinement et la qualité du système racinaire diminuent fortement avec l'âge.

En effet, les arbres adultes s'enracinent difficilement et lorsque cela se produit, le système racinaire a souvent un développement médiocre. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les boutures prélevées sur des sujets jeunes, mais cela entre souvent en conflit avec des buts particuliers, tels que la production de fruits, de graines ou de bois. Il faut donc rajeunir les arbres sélectionnés que l'on veut reproduire. Le rajeunissement passe par la coupe rase ou par le greffage et n'est pas difficile à obtenir. Les rejets de souches ont le plus souvent de grandes facultés d'enracinement sous brouillard ou brumisation.

À partir de pieds-mères en pépinière, le taux de réussite du bouturage peut atteindre assez facilement 90 % et plus, si la méthode est bien au point. De tels taux, accompagnés de la production de plants durablement vigoureux et orthotropes, autorisent alors le reboisement à grande échelle.

Les boutures les plus lignifiées sont les plus difficiles à faire enraciner. Les boutures herbacées ont tendance à être très fragiles lorsqu'on les détache de la plante-mère. C'est pourquoi, pour certaines espèces, il est recommandé de prendre des boutures dans un état intermédiaire (semi-lignifié).

L'état physiologique du végétal, au moment de la récolte des boutures, est également un élément capital dans la pratique du bouturage. Le choix du rameau porte-bouture sera toujours très important. Il faut utiliser des rameaux de l'année aussi vigoureux que possible, de préférence bien droits et surtout exempts de toute trace de maladie ou de parasitisme.

L'habillage joue également un grand rôle. En supprimant une partie du limbe des feuilles, on permettra aux boutures de survivre beaucoup plus longtemps jusqu'à l'apparition des racines.

Il est très important que la moitié au moins de la bouture soit enfoncée dans le substrat. Plus la partie enterrée est grande, plus les chances de réussite augmentent.

On peut faire prendre racine à des boutures de presque toutes les tailles. La dimension des boutures dépend également de la volumétrie et du type du conteneur utilisés. Toutefois, la croissance ultérieure des sujets enracinés augmente avec les dimensions initiales des boutures.

La présence de lésions à la base de la bouture s'est révélée bénéfique. Cette opération a généralement permis d'accroître le nombre de racines et d'obtenir un système racinaire plus fibreux.

L'influence des substances hormonales sur le pourcentage d'enracinement varie selon l'espèce, l'âge et la physiologie de la bouture. Cependant, l'effet du traitement hormonal est positif et améliore le nombre et la qualité des racines produites. L'utilisation d'hormone à base d'AIB de 0,5 à 1 % de matière active est donc conseillée, surtout pour son influence sur la qualité du système racinaire néoformé.

La formation de racines peut prendre, selon l'essence et la nature des boutures, de quelques semaines à quelques mois. Les meilleurs taux d'enracinement ont été obtenus de la fin février au début avril. Cette période correspond au débourrement végétatif et à la reprise de croissance, ce qui favorise l'obtention de boutures herbacées et semi-lignifiées et d'un bon statut nutritionnel. Une autre période favorable à l'enracinement est observée en août et en septembre. Au-delà, durant la saison hivernale, le

taux d'enracinement baisse régulièrement jusqu'en février. Cette période correspond au ralentissement de la croissance.

Il existe des différences importantes dans l'aptitude à l'enracinement des différentes espèces (le chêne liège et l'if commun nécessitent plus de soins et plus de temps que le caroubier ou le thuya de Berbérie). Les boutures de chêne liège sont loin de manifester l'aptitude à l'enracinement observée chez le caroubier. Cependant, malgré les difficultés rencontrées pour la multiplication d'une espèce, il est possible de disposer de matériel végétal naturellement plus apte à la multiplication, ou rendu plus apte en tenant compte des variations d'aptitude entre les différents organes prélevés et en appliquant des techniques de pépinière favorisant la rhizogenèse.

Les conditions optimales pour l'enracinement sont un substrat léger, un environnement ambiant très humide, une humidité relative élevée (> 90 %), une température d'environ 20 à 27 °C, un faible éclaircissement ($300 - 500 \mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) et une longue photopériode (durée du jour). Toutefois, ces conditions d'enracinement sont aussi favorables pour le développement des champignons. Des traitements antifongiques doivent être effectués, soit à titre préventif, soit dès l'apparition des premiers symptômes.

Le bouturage des eucalyptus est pratiqué à une échelle opérationnelle, car la demande en plants issus de boutures est réelle. Celui des autres essences (chêne liège, arganier, thuya de Berbérie, pins, if commun, etc.) n'a pas encore atteint un rythme de croisière à cause de la faible demande en plants issus de boutures. Nos essais sur le bouturage des essences forestières et agroforestières ont permis de mettre au point des méthodes relativement simples et peu coûteuses. Pour ces dernières essences, l'accent devrait porter sur la poursuite des travaux sur l'amélioration génétique en vue de sélectionner le meilleur matériel végétal, doté d'une bonne capacité d'enracinement et capable de tolérer les différents stress environnementaux.

La sélection précoce, multi-critères, des essences à usages multiples et à grande valeur ajoutée (arganier, caroubier, if commun, etc.) et la multiplication des meilleurs clones (sélectionnés sur la base de leur production d'huile, de leur richesse en principes actifs, de la valeur fourragère et chimique des feuilles, etc.) permettra sans aucun doute de mieux valoriser, restaurer, protéger et conserver ces essences, et de les mettre en valeur sur le plan économique, pour un développement harmonieux et durable des zones arides.

Des défis restent à surmonter quant à la mise à l'échelle opérationnelle du bouturage des essences forestières et agroforestières qui présentent diverses difficultés à s'enraciner. Le bouturage nécessite l'installation d'équipements appropriés, une phase d'adaptation aux techniques de bouturage à l'échelle opérationnelle pour que le pépiniériste s'approprie des différentes techniques, l'optimisation d'un itinéraire de bouturage pour chaque essence et la formation sur mesure des pépiniéristes qui veulent s'orienter vers la production de plants issus de boutures.



Chapitre 2

Le greffage

Sbay, H. et M. S. Lamhamedi, 2015. *Le greffage*. Dans : Sbay, H. et M. S. Lamhamedi, 2015 (éds.). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, p. 35-62.

Chapitre 2 : Le greffage

1. Définition

Le greffage consiste à prélever une partie végétative de l'arbre-mère que l'on souhaite reproduire et conserver (greffon) pour certaines de ses qualités qui sont appréciées. Le greffon sera mis en contact direct avec une partie de la plante racinée, qui est généralement caractérisée par l'adaptation, la résistance et la vigueur (porte-greffe). Après cicatrisation, le greffon et le porte-greffe vont s'unir et former une plante fonctionnelle dont le rôle nourricier est assuré par le porte-greffe (Figure 2-1).

La pratique opérationnelle du greffage est une pratique qui remonte à l'Antiquité et qui consiste à combiner plusieurs plantes. À l'époque des Grecs et des Romains, cette technique se pratiquait initialement sur les espèces d'arbres de grande valeur économique, notamment l'olivier et les agrumes cultivés sur le pourtour de la Méditerranée. Sa mise en application pour les essences forestières est relativement récente.



Figure 2-1. Greffage de quatre espèces ligneuses : a) greffage en fente terminale de chêne liège; b) extraction de l'écusson sur un rameau d'olivier (greffage en placage d'écusson ou *chip budding*); c) plant de caroubier greffé en écusson à deux niveaux; d) greffes d'olivier sur l'oléastre, apparition de fleurs.

Le greffage est une méthode de multiplication végétative complexe et son succès repose sur le recours à un personnel non seulement qualifié, mais également expérimenté. D'autres facteurs influencent le taux de succès du greffage (humidité, température, compatibilité et surface de contact entre porte-greffe et greffon, infections fongiques et virales, mesures sanitaires, âge physiologique, etc.).

2. Objectifs

Les principaux objectifs du greffage consistent notamment à :

- Obtenir une plante ayant les qualités de la variété greffée, mais qui conserve le même bagage génétique;
- Multiplier (cloner) des végétaux considérés pour différents critères comme remarquables, mais qui demeurent récalcitrants au bouturage généralement à cause de leur inaptitude à la rhizogenèse adventive;
- Remédier à des conditions édaphiques défavorables, tant du point de vue physique (ancrage) que physiologique (chlorose, résistance aux maladies, etc.), grâce à l'ajout du système racinaire adapté du porte-greffe et à sa résistance, par exemple, aux stress environnementaux biotiques et abiotiques;
- Modifier le port originel de la plante greffée en atténuant généralement sa vigueur et en optimisant la fréquence requise des tailles;
- Accélérer les délais de mise à fleur, que ce soit à des fins de production (arboriculture fruitière), ornementale, sylvicole ou de sélection génétique (vergers à graines clonales issus du greffage);
- Lutter contre les agents pathogènes en utilisant des porte-greffes résistants aux champignons et aux nématodes.

Outre ces avantages reconnus et exploités de longue date, le greffage peut également être un moyen pour :

- Stimuler l'aptitude organogène de certains individus considérés comme intéressants, mais inaptes à la reproduction végétative. Il a été en effet constaté que le greffage de rameaux issus de sujets âgés sur des porte-greffes jeunes et vigoureux favorise le phénomène de rajeunissement;
- Modifier un cultivar ou une variété n'ayant pas permis d'atteindre les objectifs escomptés (regreffage);
- Obtenir deux ou plusieurs variétés différentes de fruits, par exemple, sur un seul arbre;
- Révéler la présence ou non de virus : certaines plantes porteuses de virus ne présentent pas de symptômes visibles ou évidents. Le greffage de la plante suspecte sur un porte-greffe très sensible (plante indicatrice) permet de confirmer ou d'infirmer la présence de la maladie;
- Multiplier les individus exceptionnels, par exemple, de certaines essences forestières et agroforestières (cèdre Gouraud, arganier, etc.) et en assurer la pérennité;
- Assurer la pollinisation précoce chez les espèces allogames – greffage de branches mâles sur la plante femelle;
- Rendre fertiles des arbres qui ne le sont pas (c'est le cas du caroubier, car les arbres mâles ne sont pas fructifères);
- Garantir un taux de succès de multiplication malgré l'utilisation d'arbres très âgés, ce qui n'est pas le cas pour l'instant des autres méthodes de multiplication.

3. Outils et matériel nécessaires

Lors de l'opération technique du greffage, le greffeur a généralement besoin des différents outils suivants :

- Une échelle pour grimper aux arbres; l'échelle de Nancy est souvent utilisée, car elle est à la fois sûre et rapide et elle ne cause pas de dommages majeurs aux arbres;
- Un échenilloir pour le prélèvement des greffons;
- De l'alcool à 90 % pour désinfecter les outils;
- Une scie égoïne pour le greffage des grosses branches;
- Un sécateur bien affûté pour enlever les branches et pour effectuer toutes les autres tailles en serre et dans la pépinière;
- Un couteau à greffer ou un greffoir avec une lame fine parfaitement aiguisée et une spatule pour soulever l'écorce;
- Une pierre à aiguiser pour affûter les outils sur le terrain;

- Des liens, du raphia ou des rubans élastiques pour lier le greffon au porte-greffe (des rubans de 5 mm de largeur sur 10 à 15 cm de longueur donnent des résultats satisfaisants). On peut aussi utiliser des liens en Parafilm;
- Un récipient avec un agent désinfectant pour les outils (les couteaux qui se couvrent de résine pendant le greffage se nettoient facilement avec de l'alcool);
- Des produits à base de fongicides;
- Des sachets de polyéthylène transparents;
- Une table de greffage pour travailler dans de bonnes conditions;
- Du mastic ou du mélange à greffer pour recouvrir les sections exposées des greffes afin d'empêcher leur dessèchement;
- Une plaque chauffante pour conserver le mastic à la température voulue;
- Un pinceau pour appliquer le mastic à greffer;
- Des étiquettes et un marqueur pour identifier les greffes.

4. Principales conditions de réussite

La réussite de toute greffe dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- La qualification et l'expérience du greffeur;
- La compatibilité et l'affinité entre le greffon et le porte-greffe;
- La propreté (stérilité) et l'aiguillage des outils;
- Le degré de contact entre les zones génératrices (plus la surface des milieux en contact est étendue, plus la soudure est résistante);
- L'état du greffon et du porte-greffe (vigoureux et exempts de maladies);
- La période et les conditions de prélèvement des greffons;
- Le respect de la période de greffage et de la technique choisie. Chaque technique a une période propice selon la phénologie et la physiologie de l'arbre;
- La nature des soins effectués pendant la phase préparatoire et après le greffage;

- Les variables environnementales (température, humidité relative, etc.) qui influencent la cicatrisation.

Ainsi, la greffe se cicatrise généralement comme suit :

- Alignement des cambiums vasculaires : la personne qui pratique la greffe place le greffon récemment sectionné en contact direct avec le porte-greffe, qui aura aussi été fraîchement coupé. Il est impératif que les cambiums des deux plantes se touchent;
- Cicatrisation de la plaie : les cellules endommagées par la coupure exsudent une matière nécrotique noire;
- Formation du cal : la couche suivante de cellules cambiales, qui n'a pas été endommagée, produit un grand nombre de cellules parenchymateuses (tissulaires) qui forment un cal, lequel assure le lien mécanique entre le greffon et le porte-greffe;
- Formation du cambium : certaines cellules du cal s'alignent sur le cambium du greffon et du porte-greffe pour se transformer en cellules cambiales;
- Formation du tissu vasculaire : les nouvelles cellules cambiales forment des cellules secondaires de phloème et de xylème, établissant ainsi une liaison vasculaire ferme entre les deux plantes.

5. Conseils et précautions à prendre lors du greffage

- Le choix du porte-greffe doit généralement tenir compte de plusieurs facteurs, notamment la compatibilité, la résistance aux maladies, l'adaptation aux conditions édaphiques, l'état de sa vigueur, sa forme et son architecture, ainsi que la mise à fruit;
- Le porte-greffe doit être jeune et sain. Le critère principal de choix est l'affinité de grosseur entre le greffon et le porte-greffe. Des diamètres de 0,5 à 2 cm permettent d'obtenir une bonne soudure;
- Le choix du greffon doit tenir compte principalement de son état de développement. Les bourgeons ne doivent pas être complètement différenciés, mais être en pleine activité. On peut s'assurer de cet état d'activité par leur dimension;

- Les greffons devront être récoltés soit sur des arbres déjà greffés, dont l'origine est connue (méthode recommandée), soit sur des arbres qui possèdent les caractéristiques désirées (qualité du bois, architecture, production de bois, etc.);
- Les greffons devront être récoltés sur des pousses aoûtées. Ces pousses sont coupées en morceaux de 15 cm de longueur environ (ces morceaux doivent compter deux ou trois bourgeons et doivent être verts et fermes au toucher);
- La récolte des greffons doit avoir lieu, si c'est possible, le jour même de leur utilisation;
- Le greffage doit se faire à l'abri du soleil et du vent pour éviter le dessèchement;
- L'union entre le greffon et le porte-greffe doit être consolidée par un lien fort mais suffisamment élastique pour ne pas étrangler la tige au point d'union. On emploie couramment un ruban plastique semi-élastique, appelé ruban à greffer, qui peut contenir également un produit antifongique pour prévenir les attaques fongiques au point d'union;
- L'identité de la greffe doit toujours être notée avec précision sur chaque plant;
- Les outils de travail doivent être propres et désinfectés après chaque greffe;
- Il est recommandé d'arroser régulièrement (le sol doit être bien mouillé) pour éviter de soumettre les porte-greffes au stress hydrique;
- La circulation de la sève du porte-greffe doit être activée par des binages et des arrosages de 2 à 3 jours avant le greffage;
- Selon le stade de croissance des greffes, la ligature est soit desserrée, soit supprimée, soit renouvelée;
- Les gourmands, qui naissent sur le porte-greffe, consomment la sève au détriment des greffes. Ils doivent être ébourgeonnés au fur et à mesure de leur apparition;
- En fonction de l'état de développement de la greffe, les sujets seront rabattus à une dizaine de centimètres environ au-dessus de celle-ci de façon à favoriser sa croissance.

Il est essentiel de tenir de bons registres et de ne jamais perdre l'identité d'une greffe. En cas de doute, il vaut mieux jeter la greffe. Il importe d'inscrire certains renseignements qui seront utiles lors de l'évaluation, notamment : les numéros d'identification de l'arbre et de la greffe sont essentiels, ainsi que d'autres données comme la date du prélèvement du greffon et celle du greffage, les conditions du greffage, des remarques, des observations, etc. L'étiquette doit suivre le plant tout au long de son parcours, même en plantation.

6. Principales méthodes de greffage

On peut regrouper les méthodes de greffage dans les trois grandes catégories suivantes :

- Les greffes par bourgeon (greffe en écusson, greffe de bouton à fruit);
- Les greffes par rameau (greffe en fente simple, greffe en couronne);
- Les greffes par approche (greffe en placage, greffe en placage d'écusson ou *chip budding*, greffe par approche en fente incrustée, greffe par approche à l'anglaise).

Lors d'une greffe par bourgeon, on insère sous l'écorce du porte-greffe un fragment d'écorce muni d'un bourgeon. Pour effectuer une greffe de la seconde catégorie, on introduit sous l'écorce du porte-greffe des rameaux-greffons. Enfin, dans le cas de la dernière catégorie, il s'agit de rapprocher les deux parties (greffon et porte-greffe).

En foresterie, les méthodes de greffage généralement utilisées sont les suivantes :

- La greffe en écusson;
- La greffe en placage d'écusson ou *chip budding*;
- La greffe en fente simple;
- La greffe en couronne;
- La greffe en placage.

Les autres ne sont que des variantes des méthodes principales. Chacune de ces méthodes a ses exigences, ses avantages et ses inconvénients.

6.1 Greffage en écusson

a) Définition

La greffe en écusson consiste à exciser un fragment d'écorce muni d'un bourgeon viable, qui est fixé à l'aisselle du pétiole de chaque feuille désignée sous le terme d'écusson et à insérer ce fragment sur une entaille en forme de T réalisée dans l'écorce, à la base de la tige du porte-greffe (Figure 2-2).

Cette technique est couramment utilisée et elle est particulièrement conseillée pour les arbres à écorce fragile. Elle est simple et rapide d'exécution et elle permet de greffer de jeunes sujets sans les mutiler. Elle n'exige qu'une faible quantité de greffons.

Ce mode de greffage est largement utilisé chez les feuillus. Il se pratique aussi bien sur des plants en pépinière que sur les arbres sur le terrain.

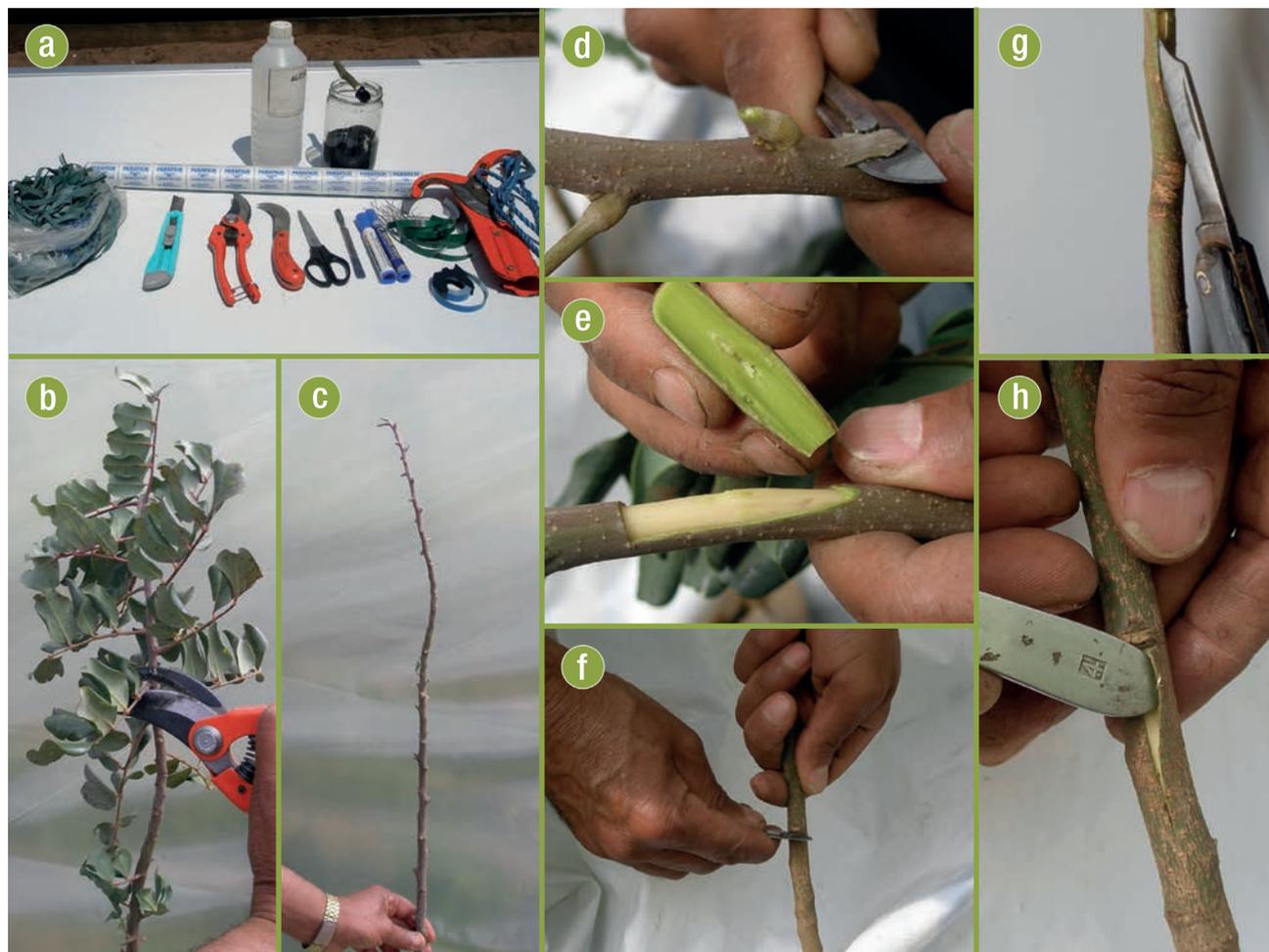


Figure 2-2. Principales étapes de greffage en écusson chez le caroubier. a) outils nécessaires à l'opération du greffage; b) prélèvement du rameau sélectionné; c) rameau après effeuillage; d) coupe d'un œil au greffon sur le rameau avec l'écorce qui le porte; e) extraction de l'écusson; f) incisions horizontales; g) incision verticale sur l'écorce du porte greffe pour avoir une entaille en forme de T; h) écartement des lèvres de l'entaille à l'aide d'un objet mince (l'ergot).



Suite (Figure 2-2). i-j) insertion du greffon dans l'entaille; k-l) ligature avec du ruban en parafilm; m) éclosion de bourgeons sur le greffon; n) deux greffes réussies sur le même plant; o-p) écussonnage en plein champ.

b) Préparation

Les rameaux prélevés sur le terrain sont rapidement mis en bottes, étiquetés, puis enroulés dans une toile ou un sac de jute humide ou placés dans une glacière, en attendant leur utilisation. Ils sont ensuite placés en chambre froide à 4°C, à une humidité relative d'au moins 90 %.

Les plants servant de porte-greffe doivent être bien arrosés quelques jours avant l'opération de greffage, afin de les « mettre en sève » et de s'assurer que l'écorce se détache facilement. Le greffon, prélevé sur la variété choisie, est constitué d'un bourgeon (œil) de l'année bien développé et entouré d'une bordure d'écorce en forme d'écusson (plat en haut et pointu en bas).

Le greffon est manipulé par le pétiole pour éviter de toucher sa partie à vif (cambium) avec les doigts, ce qui provoquerait une infection susceptible de faire échouer la greffe.

c) Mode opératoire

Cette méthode consiste d'abord à prélever au greffoir un écusson avec l'écorce qui le porte sur le rameau-greffon (lambeau d'écorce de 25 à 30 mm de longueur) sans entamer l'aubier. Puis, il s'agit de pratiquer une incision en forme de T sur une partie bien droite et lisse du porte-greffe et d'écarter les lèvres de celle-ci à l'aide de la spatule de greffoir. Pour y insérer le greffon, le bourgeon doit se trouver au moins à 2 cm sous l'entaille transversale et doit bien pointer vers le haut.

Une fois l'écusson inséré dans l'entaille, sa partie supérieure doit buter précisément sur la barre du T de l'ouverture afin que la sève puisse circuler entre les deux éléments.

Après exécution, la greffe est ligaturée (avec du Parafilm ou un ruban élastique) en laissant juste dépasser l'œil et son pétiole. La soudure s'opère généralement 2 ou 3 semaines après cette intervention. La ligature peut être incisée pour éviter les risques d'étranglement; dans le cas contraire, l'écusson noircit et le bourgeon se dessèche sans tomber.

Dès la reprise de croissance du greffon (apparition des premières feuilles), tous les gourmands qui apparaissent doivent être enlevés au printemps. À cet effet, le porte-greffe est généralement taillé juste au-dessus de la greffe afin d'allouer au greffon toute la sève produite. Le feuillage devrait également être en bonne santé tout en favorisant la croissance par le désherbage, la lutte contre les parasites, la fertilisation et l'irrigation d'appoint en cas de soin.

d) Période de greffage

Généralement, le greffage se pratique au moment où l'arbre (plant) est en pleine sève. En ce qui concerne le greffage de feuillus, la période idéale se situe au moment où la sève circule parfaitement bien et où la chaleur ambiante n'est pas trop élevée pour ne pas « griller » les greffons. Pour s'en assurer, il faut vérifier que l'écorce se détache facilement du bois.

En pépinière, ce type de greffage peut être fait à deux périodes de l'année.

- Au printemps (avril-mai) : si la greffe prend, l'œil se développera en pousse herbacée dans les semaines qui suivent. C'est une greffe dite « à œil poussant ».
- En été (juillet-septembre) : si l'œil implanté ne se développe pas immédiatement, il se soudera et donnera une pousse à bois au printemps suivant. C'est une greffe dite « à œil dormant ».

Si le pétiole tombe, c'est le premier indice de reprise de la greffe. Dans le cas contraire, c'est souvent un signe d'échec. Les écussons bien soudés au porte-greffe n'ont besoin d'aucune protection hivernale.

e) Illustration de la technique

Les étapes de la préparation du greffon et du porte-greffe à la mise en place de l'écusson et de la ligature sont illustrées ci-après.

Cas du caroubier

Cette technique peut être utilisée en plein champ sur des rejets de souches ou sur des tiges de petits diamètres.

Les principales étapes de greffage en écusson chez le caroubier sont illustrées dans les figures 2-2 et 2-3.

Le taux de reprise de cette méthode est souvent très satisfaisant et peut dépasser, pour certaines espèces et dans certaines conditions, 90 % comme taux de réussite.

6.2 Greffage en placage d'écusson (chip budding)

a) Définition

La greffe en placage d'écusson, une variante de la greffe en écusson, consiste à remplacer l'écusson par une plaque qui vient se souder contre l'entaille de forme équivalente pratiquée dans le porte-greffe. Cette technique est utilisée lorsqu'on souhaite faire une greffe en écusson et que les végétaux ne sont pas suffisamment en sève pour garantir une bonne reprise de l'écusson. Elle est également réalisée sur des arbres âgés, surtout lorsque l'écorce ne se décolle pas bien.

Cette technique présente les avantages suivants :

- Elle est techniquement simple et rapide à réaliser et elle ne nécessite qu'un minimum de précision pour faire coïncider l'extrémité du greffon avec l'encoche pratiquée sur le porte-greffe;
- Elle convient aux sujets à reprise difficile (surface de contact plus importante, garantie d'un meilleur résultat);
- Elle permet d'utiliser des greffons en état de stress hydrique;
- Elle offre de très bons taux de reprise;
- Elle ne nécessite aucun traitement après l'application du bourgeon;
- Elle peut être utilisée sur des arbres de gros diamètres pour faire du sur-greffage;
- Elle n'exige pas que le porte-greffe soit en pleine sève;
- Elle limite le matériel végétal utilisé (un seul œil à prélever) tout comme pour l'écussonnage, ce qui peut engendrer plusieurs greffes sur le même porte-greffe.

b) Préparation

Compte tenu de l'effet favorable du porte-greffe sur le greffon (mise à fruit rapide, productivité élevée et soutenue, bonne qualité de fruits), il est recommandé de choisir des porte-greffes présentant les qualités suivantes :

- Un développement relativement réduit de l'arbre afin de faciliter les récoltes;
- Une bonne résistance aux champignons, aux virus et aux nématodes;
- Une bonne adaptation aux conditions édapho-climatiques;

- Une multiplication et un élevage faciles en pépinière permettant de produire du matériel relativement homogène.

Décapiter le porte-greffe, qui peut être en pleine-terre ou en pot, avec une scie ou un sécateur à la hauteur voulue et débarrasser ce dernier de toute végétation latérale.

Il est d'une importance capitale que les arbres utilisés comme donneurs de greffons soient reconnus pour leur identité variétale et leur parfait état sanitaire.

Sur ces arbres connus, prélever des rameaux aptes à donner des bourgeons et dont le diamètre ne doit pas dépasser le quart de celui du porte-greffe.

Comme pour la greffe en écusson, la ligature n'a pas à être mastiquée. Couper la tête du porte-greffe après la réussite de la greffe.

Quand la greffe a pris, retailler le porte-greffe à environ 10 cm au-dessus de la greffe.

Enlever tous les gourmands qui apparaissent sur le porte-greffe au printemps et au début de l'été et favoriser la croissance par le désherbage, la lutte contre les parasites, la fertilisation et, au besoin, l'irrigation.

c) Mode opératoire

Pratiquer deux incisions horizontales sur une surface plane du rameau greffon, sur la moitié du diamètre, de part et d'autre d'un œil et espacées de 4 à 5 cm, puis deux incisions verticales à gauche et à droite afin de finir la découpe du demi-cylindre *chip* (copeau). Ce dernier est extrait à l'aide de la languette de l'écussonnoir.

En présentant le chip devant le porte-greffe, commencer par tracer une empreinte de façon à avoir les mêmes dimensions et pratiquer exactement la même découpe sur le porte-greffe, en veillant à ce que le chip couvre exactement l'encoche réalisée à cet effet.

Il ne reste plus qu'à extraire la plaque et à placer le chip prélevé dans l'encoche réalisée dans le porte-greffe. Procéder ensuite à une ligature en ne couvrant pas l'œil et à un étiquetage pour garder l'identité du greffon.

Au-dessus du placage, réaliser une incision annulaire de 1 à 2 mm de hauteur, sur la totalité du diamètre. Ceci a pour but de favoriser la concentration de sève au niveau du placage. Le tout est ensuite protégé au moyen d'un film en plastique.

En cas d'échec de la greffe, le cal cicatriciel de cet anneau se formera suffisamment rapidement pour ne pas mettre en péril la partie supérieure de la branche.

À œil poussant : au bout de trois semaines (avec porte-greffe en végétation), décapiter le porte-greffe au-dessus du point de greffe et mastiquer la plaie. Cette intervention forcera le départ en végétation de l'œil greffé.

À œil dormant : retirer la ligature environ six semaines après le greffage. Au printemps suivant, au début de la saison de végétation de l'œil, décapiter au-dessus une fois qu'il aura émis un début de tige herbacée et mastiquer la plaie. Si l'œil ne montre pas de croissance, mais qu'il est toujours sain et vivant, décapiter et mastiquer la plaie pour forcer son départ en végétation.

d) Période de greffage

Cette greffe ne se limite pas seulement aux périodes d'écussonnage. Elle est pratiquement réalisable depuis la fin de l'hiver jusqu'à l'automne. Elle peut aussi se pratiquer sur porte-greffe dormant. Elle peut s'effectuer à œil poussant ou à œil dormant. Pendant la première période de végétation (fin hiver jusqu'au stade de pousses semi-herbacées de l'année), on greffera à œil poussant (c'est-à-dire que le chip sera prélevé sur un rameau conservé au repos) sur un porte-greffe dormant ou juste après la reprise de la végétation.

Pendant la deuxième période de végétation (chute des feuilles), on greffera à œil dormant (c'est-à-dire que le chip sera prélevé au moment même du greffage).

e) Illustration de la technique

Cas du caroubier

La figure 2-3 présente les principales étapes de greffage en placage d'écusson, ou *chip budding*, chez le caroubier.



Figure 2-3. Principales étapes de greffage en placage d'écusson ou *chip budding* chez le caroubier. a) deux incisions horizontales, sur la moitié du diamètre, au-dessus et en dessous de l'œil; b) deux incisions verticales à gauche et à droite pour finir la découpe du demi-cylindre; c) extraction à l'aide de la languette de l'écussonnoir; d) marquage de l'empreinte de notre écusson à plaquer à l'aide de la lame de l'écussonnoir; e) entaille épousant la forme de notre écusson, débitée dans le porte-greffe; f) extraction de la découpe; g) chip plaqué dans la découpe du porte-greffe; h) ligature ferme au moyen de bandelettes en caoutchouc; i) greffe réussie.

Cas de l'olivier sur l'oléastre

Les principales étapes de greffage en placage d'écusson, ou *chip budding*, de l'olivier sur oléastre sont illustrées dans la figure 2-4.



Figure 2-4. Principales étapes de greffage en placage d'écusson ou *chip budding* de l'olivier sur oléastre. a) incision horizontale, sur la moitié du diamètre, au-dessus et en dessous de l'œil; b) incision verticale à gauche et à droite pour finir la découpe du demi cylindre; c-d) extraction de l'écussonnoir à l'aide de la languette; e) coupe d'une entaille épousant la forme du fragment choisi; f) extraction de la découpe; g) chip plaqué dans la découpe du porte-greffe; h) incision annulaire, de 1 à 2 mm de hauteur, au-dessus du placage et ligature au moyen de bandelettes en caoutchouc; i-j) ligatures ôtées après l'apparition des bourgeons et coupe du porte-greffe juste au-dessus de l'incision annulaire.

6.3 Greffage en fente simple

a) Définition

La greffe en fente simple consiste à fendre la tige du porte-greffe après décapitation et à y insérer un greffon au préalable taillé en biseau sur les deux côtés, de sorte que le contact entre les tissus (cambiums) du greffon et du porte-greffe soit bien établi et fonctionnel.

Cette méthode s'effectue en pépinière pour greffer exclusivement de jeunes plants, dont le diamètre du tronc ne dépasse pas 7 cm. Cette technique est à la portée du pépiniériste, car elle est simple à pratiquer.

b) Préparation

Les baguettes à greffons sont coupées sur les arbres sélectionnés dès janvier. Il s'agit de pousses de l'année encore tendres. Ces dernières sont immédiatement effeuillées pour éviter leur dessèchement en gardant à chaque œil un bout de pétiole, puis elles sont ficelées en botte avec une étiquette. Elles sont ensuite enveloppées dans un tissu humide. Les rameaux qui serviront à la confection des greffons doivent être prélevés dans la partie médiane de pousses bien saines et bien développées. Lors de l'opération de greffage, leur végétation sera ainsi en retard sur celle du porte-greffe, ce qui est un facteur de réussite. Les greffons doivent être préparés au dernier moment juste avant l'exécution de la greffe, afin de les utiliser le plus rapidement possible.

c) Mode opératoire

Pour réussir la greffe en fente simple, il est nécessaire de réaliser les étapes suivantes :

- Dégager les feuilles ou aiguilles du porte-greffe;
- Décapiter la pousse principale du porte-greffe et ne laisser qu'un moignon. La coupe doit se faire à un endroit rectiligne à l'aide d'un sécateur, à environ 15 à 20 cm du collet;
- Rafraîchir la plaie au moment du greffage en passant avec le couteau, pour obtenir une surface bien lisse;
- Prélever sur la baguette un greffon de 6 à 7 cm de longueur;
- Le greffon doit correspondre à l'épaisseur du porte-greffe et doit avoir au moins un ou deux yeux (i.e., bourgeons non développés);

- Pratiquer sur le greffon prélevé deux entailles (2 à 3 cm) en biseau en partant des côtés opposés;
- Fendre la tige du porte-greffe au centre à l'aide du greffoir. La fente doit être de la même longueur que celle du greffon;
- Élargir la fente au moyen d'un outil à greffer;
- Insérer le greffon taillé dans l'entaille du porte-greffe en essayant de faire coïncider les quatre surfaces de cambium sur toute la longueur du biseau;
- Ligaturer fermement le greffon au moyen d'un ruban élastique (bandelettes en caoutchouc, Parafilm), le but étant que le porte-greffe maintienne une pression sur le greffon. Une meilleure soudure sera assurée si le greffon et le porte-greffe sont de même section;
- Enduire entièrement les blessures de mastic à greffer ou les protéger à l'aide d'un ruban en Parafilm;
- Inscrire sur une étiquette tous les renseignements utiles (origine du greffon, la date de réalisation de la greffe, etc.);
- Recouvrir le greffon d'un sac polyéthylène transparent ou placer le plant greffé en serre pour maintenir une humidité suffisante autour de la greffe pendant la cicatrisation et la soudure. Ce sac devra être enlevé dès le démarrage du greffon pour éviter l'apparition de pourriture.

d) Période de greffage

Cette greffe se pratique en période de débourrement (mars-avril). Le greffon doit être en repos végétatif et le porte-greffe, sur le point de partir en végétation. C'est ce dernier point qui est capital, car le départ en végétation est spécifique à chaque région.

L'époque où les bourgeons des porte-greffes commencent à débourrer s'est révélée la meilleure époque pour le greffage des résineux.

e) Illustration de la technique

Dans l'exemple qui suit, trois espèces seront greffées : a) le caroubier, b) le pin maritime et c) le chêne liège.

(e-a) Cas du caroubier

Dans le cas du caroubier, une attention particulière doit être portée quant à l'origine des greffons. Pour assurer une bonne production de fruits, les greffons doivent être prélevés sur des arbres femelles. Ainsi,

le greffage de caroubiers femelles sélectionnés, selon différents traits (croissance, production de gousses de qualité, rendement, etc.), peut se faire sur des porte-greffes âgés d'un à deux ans. La figure 2-5 présente les principales étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier.



Figure 2-5. Principales étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier. a) rameau effeuillé; b) coupe de greffon; c) coupe d'une entaille en oblique sur 2 à 3 cm de longueur; d) coupe d'une deuxième entaille pour former un double biseau; e-f) décapitation du porte greffe; g) ouverture d'une fente diamétrale de 3 à 5 cm de profondeur; h) insertion du greffon dans la fente du porte greffe; i) ligature à l'aide du parafilm; j) étiquetage et mise en condition de confinement; k-l) éclosion des bourgeons sur le greffon; m) plant greffé âgé d'un an; n) plants greffés en serre.

(e-b) Cas du pin maritime (*Pinus pinaster* [Aiton])

Les arbres sélectionnés (Figure 2-6) sont souvent très dispersés dans toute l'aire de l'espèce. De ce fait, il est difficile de polliniser artificiellement un grand nombre d'arbres dans la même saison.

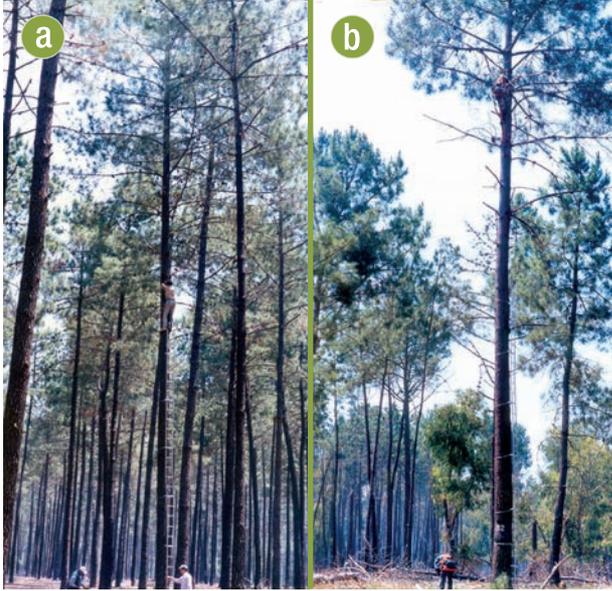


Figure 2-6. a) Arbre plus sélectionné à Mechraa El Kettane (Forêt de la Mamora, Maroc); b) récolte de greffons sur un arbre plus dans la même plantation.

Afin de faciliter le travail d'amélioration, on greffe donc des scions, prélevés sur ces arbres, sur des porte-greffes installés dans des parcs à hybridation (Figure 2-7) à proximité des laboratoires. De cette manière, le patrimoine héréditaire des arbres sélectionnés est préservé, même si l'arbre-mère meurt. Les scions d'un seul arbre peuvent être greffés et installés en divers endroits, parfois dans plusieurs pays qui utilisent et qui favorisent l'utilisation de la même espèce forestière dans les programmes d'amélioration génétique et de reboisement. Il existe, par exemple, des clones de pin maritime au Maroc, en Australie et en Afrique du Sud qui portent les mêmes noms et qui ont exactement le même génotype que des arbres de l'aire naturelle de l'espèce au Portugal.



Figure 2-7. Principales étapes de greffage en fente terminale chez le pin maritime. a-b) choix et prélèvement des greffons; c-e) taille du greffon en double biseau; f) choix de l'emplacement de la coupe; g) décapitation du porte greffe; h) ouverture d'une fente verticale; i) insertion du greffon.

**(e-c) Cas du pin pignon (*Pinus pinea* L.)
sur pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.)**

Le pin pignon est une essence héliophile et thermophile. Il est sensible aux basses températures. Il colonise aussi bien les sols calcaires que siliceux. Cependant, il a une préférence pour les sols profonds à texture sableuse. Il se situe dans l'étage bioclimatique méditerranéen, à variantes humide à semi-aride.

Au Maroc, le pin pignon demeure une essence très négligée dans les différents programmes de reboisement. Cette essence produit des graines

comestibles de grande valeur ajoutée, qui peuvent générer des revenus très appréciables pour la population riveraine des reboisements.

Durant les dix dernières années, cette essence a connu un regain d'intérêt de plus en plus croissant, en raison surtout de l'augmentation de la demande en semences faisant l'objet de transactions commerciales annuelles, dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse. Les semences sont utilisées dans la filière agro-alimentaire, notamment dans le domaine de la confiserie. Le prix moyen des graines du pin pignon varie entre 150 à 350 DH/kg (8-10 DH= 1 \$ US).



Suite Figure 2-7. j) ligature à l'aide d'une bandellette de caoutchouc; k) plants greffés en pépinière; l) plants greffés sous tunnel et ombrière; m) plants greffés couverts de sacs en plastique; n) soudure de la greffe; o) parc à hybridation issu de plants greffés; p) remarquez le point de contact porte-greffe et greffon; q) greffage au champ.

Afin d'évaluer la variabilité génétique de cette espèce, la recherche forestière marocaine a d'ores et déjà installé un réseau de plantations comparatives de provenances (Figure 2-8) et a sélectionné un grand nombre d'arbres fructifères susceptibles d'être utilisés comme clones hautement performants.

La production de semences du pin pignon est une filière très rentable dans plusieurs pays de la zone méditerranéenne (Tunisie, Italie, etc.). D'ailleurs, plusieurs pays du pourtour méditerranéen mettent l'accent sur le reboisement du pin pignon pour améliorer le revenu des populations et pour fixer les dunes maritimes.

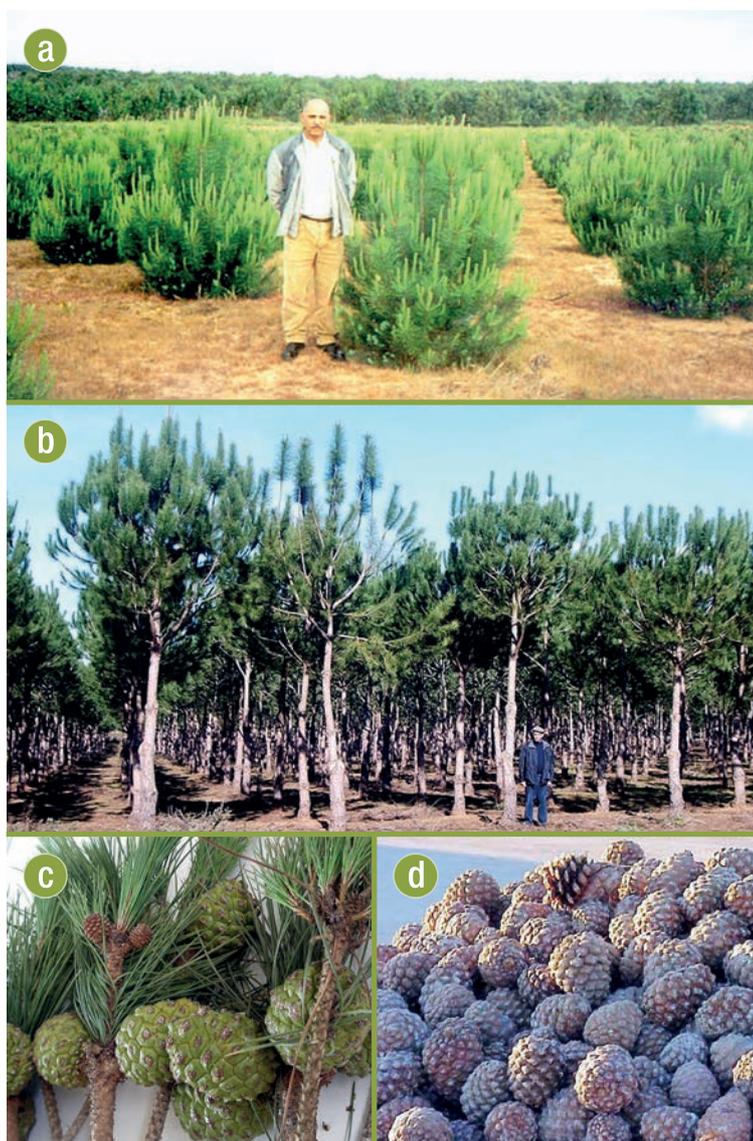


Figure 2-8. Tests de comparaison de provenances de pin pignon. a) à la forêt de Mamora (Maroc); b) à Larache (Maroc); c) choix de rameaux fructifères pour le prélèvement des greffons; d) cônes mûrs de pin pignon.

Opération de greffage

Le greffage peut être réalisé en juin-juillet, soit : i) en pépinière sur des plants d'un an et demi lorsque la tige atteint 1 cm de diamètre à la base ou ii) au champ sur des jeunes arbres de 2 à 4 ans. La technique la plus utilisée et la plus réussie est le greffage en tête (Figure 2-9).

Le développement de plantations s'appuyant sur la sélection de variétés hautement performantes et productives figure parmi les stratégies de gestion durable des ressources génétiques. La multiplication de ces variétés par greffage sur pin d'Alep, une essence très plastique, constitue un inves-

tissement très rentable. On pourra l'utiliser de façon complémentaire aux autres investissements agro-forestiers dans une région agricole donnée, afin de diversifier les recettes des populations.

Dans les conditions horticoles (vergers fruitiers), un hectare portant 200 à 260 arbres productifs âgés d'une quinzaine d'années, permet d'obtenir un rendement moyen de 25 kg de cônes par arbre, soit 5000 à 6500 kg de cônes, l'équivalent de 200 à 260 kg de graines sans coque (100 kg de cônes correspond à 4 kg de graines, prix moyen : 200 DH/kg, 1\$USA=10 DH) représente un revenu de l'ordre de 40 000 à 52 000 DH/ha/an.



Figure 2-9. Principales étapes de greffage de pin pignon. a) récolte de greffons à la forêt de M'khinza (Maroc); b) rameaux donneurs de greffons; c) greffons sélectionnés; d) élevage de portes-greffes en pépinière; e) choix de l'emplacement de la coupe et décapitation du porte greffe; f) diamètres du greffon et du porte greffe doivent être équivalents; g-h) taille du greffon en double biseau; i) ouverture d'une fente verticale; j) insertion du greffon dans le porte-greffe; k-l) ligature de la greffe; m) plant greffé et apparition de nouvelles aiguilles; n) greffe réussie; o) plants greffés sous ombrière en pépinière.

Ces chiffres expliquent le regain d'intérêt qu'a connu cette espèce ces dernières années chez plusieurs pays du pourtour méditerranéen (Espagne, Portugal, Italie, et Tunisie).

Cas du chêne liège

Les principales étapes de greffage en fente terminale chez le chêne liège sont illustrées dans la figure 2-10.

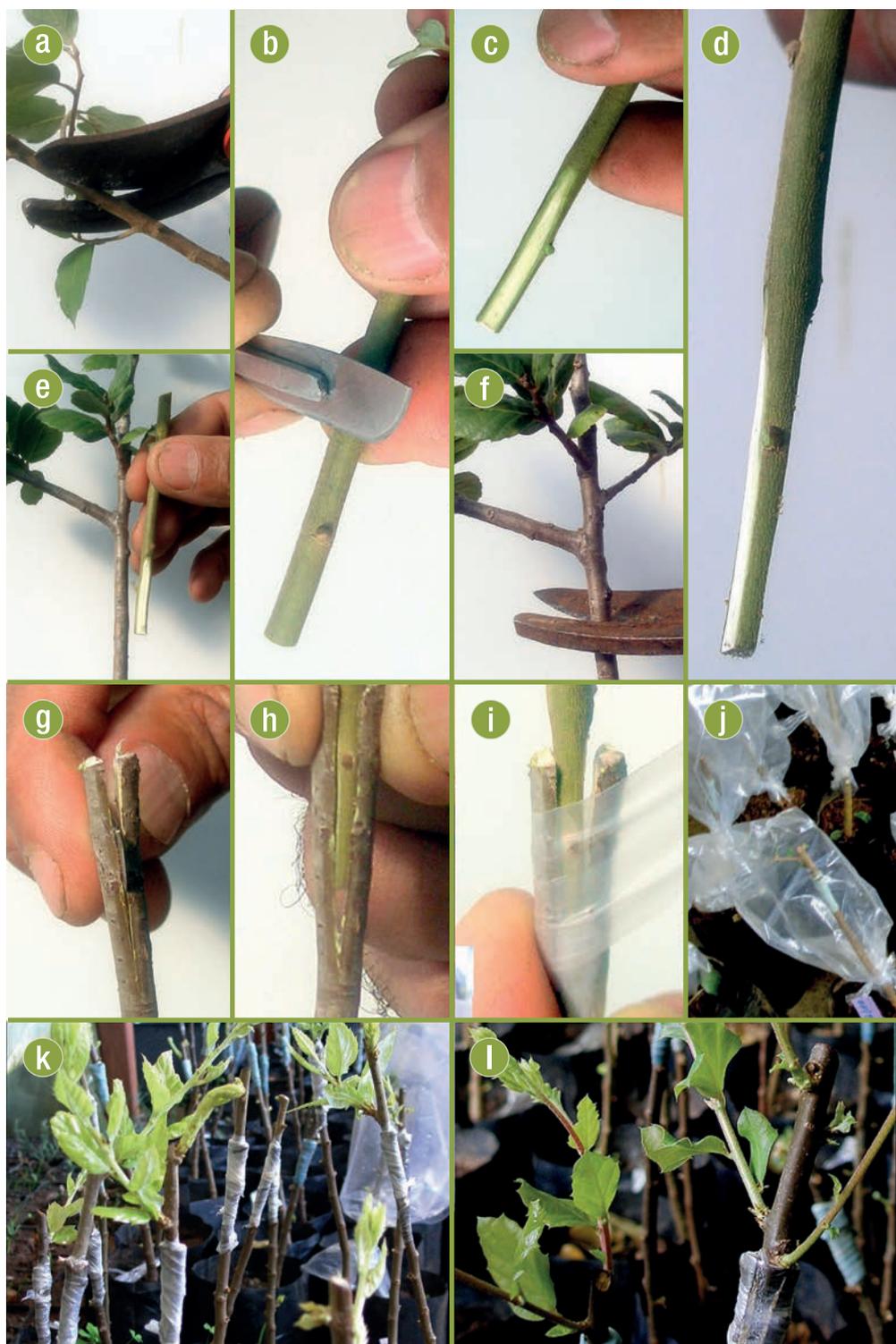


Figure 2-10. Principales étapes de greffage en fente terminale chez le chêne liège. a) choix et coupe de greffon; b) taille du greffon; c-d) greffon taillé en biseau des deux cotés; e) choix du niveau de la coupe; f) décapitation du porte greffe; g) ouverture d'une fente verticale; h) mise en contact intime des deux parties; i) ligature à l'aide d'un ruban en plastique; j) plants greffés en conditions confinées; k-l) plants greffés en plein développement.

6.4 Greffage en couronne

a) Définition

Le nom de cette technique provient de la position des greffons disposés tout autour de la branche à greffer. C'est une méthode de greffage en tête connue également sous le nom de greffe de restructuration, de réparation ou de rénovation. Elle est utilisée pour rajeunir des arbres âgés de gros diamètres, pour greffer un arbre improductif (greffer une branche femelle sur un pied mâle, par exemple) ou pour remplacer une variété non désirée ou sensible aux maladies. Cette technique consiste, après décapitation de la tige du porte-greffe, à inciser l'écorce longitudinalement sur 5 à 6 cm, à la détacher et à y insérer un ou plusieurs greffons taillés au préalable en simple biseau, de manière à mettre en contact intime les surfaces dénudées.

Elle repose exactement sur le même principe que celui de la technique de greffage en fente. Par contre, le porte-greffe, au lieu d'être fendu en deux, est incisé verticalement au niveau de l'écorce avec un greffoir, à partir de la coupe horizontale. Les greffons sont introduits sous l'écorce du porte-greffe à raison de deux à cinq greffons.

b) Préparation

Il s'agit d'une greffe terminale. La préparation du sujet à greffer consiste à scier, dans un premier temps, toute la partie aérienne de l'arbre au-dessus du point de greffe (1 à 1,5 m du sol). En général, le rabattage du sujet à greffer doit être effectué au moins de deux à trois semaines avant la greffe. Il est conseillé de laisser à proximité de la coupe une petite pousse latérale, qui jouera le rôle de tire-sève et facilitera ainsi la soudure.

Les rameaux greffons choisis en fonction de leur vigueur et de leur bon état sanitaire sont prélevés à l'avance (en hiver) sur des baguettes de l'épaisseur d'un crayon. Ils sont ensuite déposés dans une caisse à moitié remplie de sable, puis placés dans un réfrigérateur ou dans un endroit frais et humide (en jauge).

Au moment du greffage, ils seront retirés et coupés en fragments (greffons). Ces derniers devront avoir au moins deux yeux.

c) Mode opératoire

Pour réussir la greffe en couronne, différentes étapes sont nécessaires :

- Environ un mois avant le greffage, rabattre la branche à greffer à l'aide d'une scie égoïne et

le plus horizontalement possible, à un endroit rectiligne et à la hauteur souhaitée pour le greffage, de préférence juste au-dessus d'un œil ou d'une jeune branche latérale qui servira de tire-sève (cette opération retarde la végétation et permet de mieux réussir la greffe);

- À l'aide d'un couteau, égaliser la coupe résultant du sciage de façon à obtenir une surface bien lisse et bien nette, qui cicatrisera plus vite;
- Avec la pointe d'un greffoir, inciser l'écorce verticalement tout autour du tronc sur 5 cm à partir de la plaie en espaçant chaque fente de 4 cm de distance environ. L'entaille doit être équivalente à la longueur du biseau du greffon (5 à 6 cm);
- Avec la spatule du greffoir, décoller doucement l'écorce sans l'arracher et écarter du bois les lèvres de l'entaille;
- Prélever les greffons d'un calibre légèrement supérieur à celui d'un crayon à mine et d'une longueur de 9 à 15 cm sur des rameaux de l'année;
- Juste avant de réaliser la greffe, rafraîchir la plaie en parant avec le couteau pour obtenir une surface bien lisse et propre;
- Avec le greffoir, tailler en biseau simple, à l'opposé d'un œil bien apparent (juste derrière) en faisant une fente assez longue (4 à 5 cm);
- Laisser le biseau tel quel ou bien réaliser un petit épaulement dans sa partie supérieure en taillant horizontalement pour obtenir un angle à 90° environ. Cette technique permet de bien appuyer le greffon sur la partie supérieure du porte-greffe;
- Glisser délicatement les greffons préparés entre l'écorce et l'aubier à l'endroit des entailles, de façon à ce que le premier œil du greffon affleure la partie supérieure du porte-greffe. On peut également enfoncer profondément le greffon de manière à ce que l'œil se trouve légèrement au-dessous de la coupe de rabattage. Introduire ainsi deux à quatre greffons, suivant le diamètre du porte-greffe;
- Ligaturer solidement, de préférence avec de la ficelle fine, pour maintenir le contact entre le greffon et le porte-greffe;
- Incrire sur une étiquette tous les renseignements utiles (origine du greffon, la date de réalisation de la greffe, etc.);

- Pour préserver les plaies de l'air, recouvrir avec du mastic à greffer toutes les coupes à vif en débordant largement, sans oublier la partie supérieure des greffons (le mastic favorise la cicatrisation et préserve les plaies contre le dessèchement et contre toute pénétration des agents de contamination);
- Recouvrir les greffons d'un sac polyéthylène transparent pour maintenir une humidité suffisante autour de la greffe pendant le processus de soudure. Ce sac devra être enlevé dès le démarrage des greffons pour éviter l'apparition de pourriture;
- Il est prudent de poser un arceau en fil de fer pour couvrir l'ensemble, afin d'éviter que les oiseaux ne viennent se poser sur l'extrémité des greffons et ainsi empêcher la soudure;
- Après la reprise, conserver un seul greffon par branche en éliminant tous les autres à ras, à l'aide du sécateur. Quand il y a plus de trois greffons, la suppression doit s'effectuer par étapes à deux ou trois semaines d'intervalle.

d) Période de greffage

Afin de réussir cette greffe, les sujets doivent être en pleine sève pour permettre de décoller facilement l'écorce du porte-greffe. La greffe est pratiquée en septembre à sève descendante ou en mars-mai à sève montante. Pour les travaux de septembre, les greffons sont prélevés directement, tandis que pour une intervention de printemps, il faut couper les rameaux greffons en décembre et les conserver dans le bas du réfrigérateur.

e) Illustration de la technique

Cas du caroubier

Les principales étapes du greffage en couronne chez le caroubier sont présentées dans la figure 2-11.



Figure 2-11. Principales étapes du greffage en couronne chez le caroubier. a) coupe de la branche à greffer; b) surface de la coupe parée à l'aide du greffoir; c) incision verticale de l'écorce du porte-greffe sur 5 à 7cm de longueur; d) greffon taillé en biseau; e) écartement des lèvres de l'entaille avec la spatule et insertion du greffon entre l'écorce et l'aubier; f) sujet greffé en couronne montrant la disposition de trois greffons; g) ligature ferme des greffons avec de la ficelle et protection de la partie mise à nue par du mastic; h) création d'une ambiance confinée à l'aide d'un sac polyéthylène transparent; i) greffes réussies.

Cas de l'olivier (*Olea europaea*)
(greffage sur des porte-greffes âgés d'oléastre)

L'oléastre accepte, comme le caroubier, pratiquement toutes les méthodes de greffage : greffe en fente, en écusson, en placage d'écusson, en couronne, etc.

Les principales étapes du greffage en couronne de l'olivier sur oléastre sont illustrées dans la figure 2-12.



Figure 2-12. Principales étapes du greffage en couronne de l'olivier sur oléastre. a) coupe à la scie de la branche à greffer; b) rafraîchissement de la plaie au moment du greffage en parant avec la serpette pour obtenir une surface bien lisse; c) incision verticale de l'écorce du porte-greffe; d-e) écartement des lèvres avec la spatule du greffoir en veillant bien à ne pas l'arracher autour des greffons; f) greffon taillé en biseau; g) introduction de l'extrémité des greffons taillés en biseau simple dans les entailles; h) sujet greffé en couronne montrant la disposition de quatre greffons; i) ligature des greffons avec de la ficelle.



Suite (Figure 2-12). j) protection à l'aide du mastic à greffer de toutes les parties à vif de la greffe; k-l) utilisation d'un sac en polyéthylène transparent pour maintenir une humidité suffisante autour des greffons; m) greffe étiquetée et terminée; n) suppression des ligatures après l'apparition des bourgeons; o) cicatrisation des entailles et éclosion des bourgeons; p) greffes bien développées; q) coupe à ras des greffons en surplus; r) conservation d'un seul greffon par branche.

6.5 Greffage en placage

a) Définition

La greffe en placage consiste à pratiquer sur le porte-greffe et sur le greffon des entailles superficielles de 3 à 4 cm de longueur, qui pénètrent jusqu'à l'aubier. Les deux surfaces ayant été coupées sont ensuite appliquées l'une contre l'autre de manière à ce qu'elles assurent un contact continu sur toutes leurs surfaces avant d'être fermement ligaturées.

La greffe en placage est relativement simple à effectuer, surtout lorsque le diamètre du greffon correspond à celui du porte-greffe. Cette greffe est surtout utilisée pour la multiplication des conifères et des espèces feuillues à feuilles persistantes et elle n'est généralement pas engluée. La greffe en placage latéral est la méthode la plus satisfaisante pour le cèdre de l'Atlas.

b) Préparation

Les baguettes à greffer sont coupées sur des arbres sélectionnés avant le début de l'opération de greffage. Elles sont immédiatement ficelées en botte et étiquetées, pour ensuite être enveloppées dans un tissu humide et mises en chambre froide. Lors de l'opération de greffage, leur végétation sera ainsi en retard sur celle du porte-greffe, ce qui est un facteur de réussite.

Les rameaux qui serviront à la confection des greffons doivent être prélevés dans des parties saines et bien développées.

Les porte-greffes doivent être bien développés, vigoureux, fertilisés et bien irrigués.

Les greffons doivent être préparés au dernier moment juste avant d'exécuter la greffe et être utilisés le plus rapidement possible.

Les tiges du greffon et du porte-greffe doivent avoir approximativement la même circonférence.

c) Mode opératoire

En vue de réussir la greffe en placage, il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- Choisir un greffon et un porte-greffe de la même grosseur afin que les points de coupe s'épousent convenablement. Il faut greffer à l'endroit où le diamètre du greffon et celui du porte-greffe correspondent le mieux;
- À l'emplacement choisi pour la greffe, couper, sur dix à quinze centimètres de hauteur, les aiguilles, les bourgeons et les branches se trouvant sur

la tige du porte-greffe et faisant obstacle à l'adjonction du greffon;

- Enlever les aiguilles et les bourgeons à partir de la base du greffon jusqu'aux deux tiers de sa longueur environ. On peut couper ou gratter les aiguilles du greffon selon leur état. Il doit rester au moins un bourgeon intact sur le greffon. Il faut enlever tous les bourgeons ou les aiguilles qui empêchent le contact étroit entre les deux surfaces;
- Commencer l'entaille à un angle progressif avec l'écorce et faire une coupe régulière et continue le long du greffon. Il faut faire l'entaille d'un seul mouvement et sur un même plan (on ne doit pas donner de petits coups de couteaux, ni tourner le greffon en faisant l'entaille). Celle-ci ne doit pas être trop profonde (à un tiers du diamètre du greffon ou moins);
- Couper le greffon à la longueur désirée (de 2 à 3 fois le diamètre du greffon);
- Faire une entaille destinée à recevoir un placage sur le porte-greffe, afin que le cambium à nu des deux surfaces soit en contact étroit;
- Couper ensuite le morceau d'écorce qui reste. Cette partie devra être parfaitement plate pour recevoir le greffon;
- Lorsque l'on coupe le porte-greffe, il faut tenir le greffon déjà taillé parallèlement à la tige du sujet afin de calculer la longueur de la coupe. Il importe de garder les surfaces fraîchement coupées bien propres et de ne pas les toucher avec les doigts;
- Accoler le greffon sur le porte-greffe, de manière à ce que les deux parties soient parfaitement en contact;
- Enrouler le ruban autour de la partie en contact entre greffon et porte-greffe. Il faut s'assurer que le haut et le bas sont fermement maintenus en place, puisque ce sont là les points de résistance. Il faut veiller à ce que la ligature soit serrée uniformément, mais pas trop serrée pour éviter tout étranglement;
- Protéger les parties exposées de la coupe par du Parafilm ou du mastic à greffer, afin de prévenir le dessèchement et réduire les risques d'infection des surfaces exposées. Il n'est cependant pas nécessaire d'appliquer du mastic aux greffes de pin, puisque la résine coule abondamment;

- Attacher une étiquette d'identification à la greffe terminée;
- Recouvrir le greffon d'un sac de polyéthylène transparent ou placer le plant greffé en serre pour maintenir une humidité suffisante autour de la greffe pendant le processus de soudure. Le sac devra être enlevé dès le démarrage du greffon pour éviter l'apparition de pourriture;
- Une fois la croissance amorcée sur les greffons, on peut graduellement habituer les plants greffés aux conditions naturelles de lumière, de chaleur et d'humidité;
- Le sevrage du porte-greffe doit commencer progressivement quand la greffe semble prise, d'abord par la coupe de la pousse terminale qui a tendance à monopoliser la sève ascendante, puis par celle des branches latérales et, finalement, par la résection de toute la pousse du porte-greffe juste au-dessus du point de greffe;
- Après la réussite de la greffe, tous les gourmands qui apparaissent au printemps et au début de l'été sur le porte-greffe doivent être éliminés afin de favoriser sa croissance;

- Quand les conditions extérieures le permettent, les plants greffés sont extraits de la serre et mis sous ombrière. Cette dernière est progressivement retirée;
- Les plants greffés peuvent alors être mis en terre dès le printemps suivant.

À la plantation, il convient cependant de couper l'éventuel chignon de racines du plant greffé à l'aide d'un sécateur.

d) Période de greffage

Elle se pratique de mars à octobre, selon les espèces. Par exemple, la meilleure période pour le greffage par placage du cèdre de l'Atlas est le printemps.

e) Illustration de la technique

Cas du cèdre

Les différentes étapes du greffage par placage sont illustrées dans la figure 2-13.



Figure 2-13. Principales étapes du greffage en placage chez le cèdre. a) partie de greffon et porte-greffe de même diamètre; b) coupe des aiguilles du greffon; c) coupe du greffon sur un côté; d) coupe destinée au placage sur le porte-greffe; e) coupes équivalentes sur le greffon et le porte-greffe; f) mise en contact étroit des deux parties; g) enroulement du ruban greffe; h) étiquetage et couverture de la zone de greffage par un sac en plastique; i) greffe en placage réussie.

Par ailleurs, il convient de signaler que même si la technique du greffage en placage est couramment utilisée pour les résineux, selon nos résultats, la

technique du greffage en fente (en tête ou apicale) paraît plus facile et favorise le développement des greffons (Tableau 1).

Tableau 1. Comparaison des techniques de greffage en placage et de greffage apical

TECHNIQUE	GREFFAGE EN PLACAGE	GREFFAGE APICAL (en fente terminale)
Porte-greffe	Indépendante du diamètre	Nécessite des diamètres équivalents
Greffon	Plus de greffons	Très peu
Technique de greffage	Difficile; travail intense	Simple et efficace
Travaux d'entretien	Nécessite des tailles répétées	Une à deux tailles maximum
Croissance	Lente; minimum 2 ans pour atteindre la taille requise	Rapide; les plants peuvent être plantés après une année
Morphologie	Croissance plagiotrope	Croissance orthotrope

7. Soins et protection après le greffage

Une fois la greffe réalisée, le travail d'entretien, hebdomadaire si possible, est l'élément clef pour assurer la survie et la croissance des greffons ainsi que la réussite de l'opération du greffage.

Les principaux soins à apporter aux greffes peuvent être résumés ainsi :

- Rabattre rapidement les gourmands après la pousse;
- Supprimer les bourgeons développés pour favoriser le greffon;
- Lorsque tous les yeux des greffons ont évolué, ne conserver qu'un seul greffon par branche, situé à la partie supérieure. La suppression de tous les autres greffons doit s'effectuer à ras, par étape et d'une manière progressive;
- Garder le feuillage en santé et favoriser la croissance par le binage, le désherbage, la lutte contre les parasites et la fertilisation;

- Arroser généreusement (un arbre greffé ne doit surtout pas manquer d'eau);
- S'assurer que le mastic à greffer a bien cautérisé la plaie (remastiquer au besoin);
- Inciser les liens en cas de strangulation;
- Installer les plants greffés sous une serre ombragée ou une ombrière pour éviter leur dessèchement.

8. Conclusion et perspectives d'avenir

Rappelons que la greffe végétale est une véritable opération chirurgicale et qu'il est nécessaire d'y apporter, à défaut d'asepsie, le maximum de propreté.

On ne peut donner de règles générales sur la meilleure période pour le greffage, car elle varie avec le climat, la méthode de greffage et l'espèce.

Pour le greffage du caroubier, les deux techniques utilisées sont comparables en termes de taux de réussite. Toutefois, en pépinière il est préférable d'utiliser le greffage en fente et de réserver l'écussonnage au greffage en champ.

Le taux de reprise du greffage en pépinière dépend de l'état végétatif du porte-greffe, de la période du greffage et du type de greffe. Le porte-greffe doit être suffisamment développé et être en période de croissance végétative. La reprise au greffage, quelle que soit la méthode utilisée, dépend directement du diamètre du porte-greffe et de sa vigueur.

L'influence de l'espèce sur la reprise au greffage est très importante. Les plants de chêne liège sont très nettement les plus difficiles à greffer, probablement du fait de leur manque de vigueur.

En fonction de l'espèce, certains plants greffés seront prêts à être plantés à la prochaine saison de végétation, après une année (caroubier), tandis que pour d'autres il faudra deux ans avant de pouvoir les planter (cèdre de l'Atlas).

Un taux de réussite de 50 % peut être considéré comme un résultat satisfaisant pour les essences forestières, qui sont beaucoup plus difficiles à greffer que les espèces horticoles et arboricoles, plus particulièrement sous les contraintes du climat méditerranéen.

Les greffes d'arbres plus âgés sont souvent difficiles et associés à des taux de reprise des greffes de 5 à 20 % seulement.

Les différences entre clones sont toujours considérables, variant parfois de 0 à 100 %. Certains clones d'essences particulières, comme le chêne liège et le cèdre de l'Atlas, sont en effet très récalcitrants au greffage.

Compte tenu des moyens nécessaires (transport, main-d'œuvre, temps, serre, etc.) et des soins qu'exigent les greffes, leur coût est important par rapport aux plants non greffés. Au Maroc, un coût moyen de 30 DH par greffe réussie paraît une estimation raisonnable.

Aussi, la réussite d'une greffe ne se limite pas à la reprise mais à sa survie et à sa croissance à long terme. En effet, certaines greffes meurent après quelques années probablement à cause d'une mauvaise soudure de la greffe ou à son rejet, phénomène plus systématique qui apparaît chez certaines espèces. Ce phénomène bien connu en arboriculture fruitière se termine par la mort du greffon. Il s'observe très longtemps après la greffe, souvent quand la greffe entre en floraison. Bien que beaucoup moins marqué chez d'autres espèces, ce phénomène existe presque toujours. Ainsi chez *Pinus radiata*, les néo-zélandais comptent sur des pertes de l'ordre de 10 à 20 % dans les 15 premières années.



Figure 2-14. Fructification précoce des plants greffés de pins. a) plant greffé de pin pignon avec cônes à l'âge de 3 ans; b) plant greffé de pin maritime avec cônes à l'âge de 3 ans.

En terme de fructification précoce, certains individus de pin ont donné des cônes à l'âge de 3 ans.

Enfin, le succès de l'opération du greffage dépend généralement, en plus des particularités biologiques de l'âge physiologique du matériel végétal, d'un certain nombre de facteurs, à savoir : l'origine génétique (espèce ou la variété), la méthode choisie, l'expérience du greffeur, l'humidité du sol et de l'air, la température, le contact entre porte-greffe et greffon, les mesures d'hygiène, l'intégrité du matériel et l'efficacité des soins apportés après le greffage.



Chapitre 3

La micropropagation

Lamhamedi, M. S. et H. Sbay, 2015. *La micropropagation*. Dans : Sbay, H. et M. S. Lamhamedi, 2015 (éds.). Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, p. 63-77.

* Crédit photos : Dre. Lamia Hamrouni

Chapitre 3 : La micropropagation

1. Introduction

La multiplication végétative par culture *in vitro*, ou micropropagation, est une technique de production cellulaire permettant la conservation en survie, la prolifération, voire même l'obtention d'organismes entiers, *in vitro*, à partir d'un fragment de tissu appelé explant, qui est prélevé sur l'individu à multiplier sous des conditions contrôlées et d'asepsie totale.

La culture de tissus repose sur le principe de la totipotence, qui signifie que toute cellule végétale est capable de régénérer un autre individu identique à celui dont elle est issue. Cette technique se distingue des autres approches de multiplication végétative (greffage, bouturage, etc.) par son taux de multiplication très élevé. En effet, à partir d'une seule plante ou d'un fragment on peut produire des milliers de nouvelles plantes.

En plus d'une main-d'œuvre hautement qualifiée, cette technique nécessite la mise en place d'infrastructures de laboratoire et un environnement parfaitement contrôlé (éléments nutritifs, hormones, vitamines, maintien de la stérilité lors des manipulations, variables environnementales : température, lumière, humidité, etc.).

Par rapport aux méthodes conventionnelles de propagation, la culture *in vitro* présente plusieurs avantages, notamment :

- Elle rend possible la multiplication d'espèces chez lesquelles les semences sont rares ou germent mal et dont les techniques de bouturage ou de greffage n'assurent pas leur multiplication de façon satisfaisante;
- Elle permet l'augmentation à l'infini du nombre de plantes génétiquement identiques qui sont reproduites à partir d'un seul plant-mère;
- Elle est utilisée pour l'assainissement des végétaux exempts de maladies (plantes indemnes);
- Elle contribue considérablement à l'avancement des techniques traditionnelles grâce à un taux de multiplication de 100 à 1000 fois plus élevé. Cette caractéristique fait en sorte que la culture *in vitro* est très utilisée dans le domaine commercial aussi bien en horticulture qu'en foresterie, et ce, de façon rentable (bananier, ananas, agrumes et plantes ornementales, merisier,

eucalyptus, hévéa, palmiers à huile et dattier, olivier, etc.). D'ailleurs, le microbouturage permet de mettre plus rapidement sur le marché des espèces très demandées ou exotiques;

- Elle est utilisée également pour la production rapide et de masse de copies conformes d'arbres sélectionnés lors des tests de descendances;
- Elle permet la réjuvenilisation d'arbres remarquables de haute valeur génétique forestière ou agroforestière et commerciale;
- Elle réduit aussi bien les risques d'infection virale au cours de la multiplication du nouveau génotype en laboratoire que dans les serres nécessaires à la constitution du stock de plantes pour une production commerciale;
- Elle permet de travailler en dehors du cycle des saisons, de régler la production dans le temps, d'éliminer les traitements phytosanitaires des serres de propagation et de stocker en chambre froide le matériel génétique en vue de constituer une banque de gènes ou un stock de plantes nécessaires à une relance ultérieure de la production. De nombreuses plantes sont désormais stockées dans des « vitrothèques ». Il s'agit là de milliers de petits tubes, où poussent perpétuellement des mini-plantes qui contribuent ainsi à la conservation du patrimoine génétique végétal de l'humanité;
- Grâce à la culture *in vitro*, on peut aussi transporter des plants à l'intérieur d'un pays ou d'un continent à l'autre, et ce, sans risques de contamination tout en respectant les clauses légales d'utilisation du matériel végétal;
- Elle permet la production de substances biochimiques intéressantes pour l'industrie;
- La qualité des plantes reproduites *in vitro* est généralement supérieure à celle des plantes obtenues par les techniques traditionnelles, et ce, pour les raisons suivantes :
 - i) on ne reproduit que des exemplaires conformes aux individus-élites soigneusement sélectionnés;
 - ii) on opère encore des sélections au cours de la production;

iii) la technique de reproduction en milieu aseptique, lorsque bien appliquée, contribue à la production d'individus plus vigoureux et plus résistants aux divers stress biotiques et abiotiques.

Pour le généticien, la micropropagation permet ainsi :

- L'introduction de nouvelles variétés ou de clones non modifiés génétiquement, qu'ils soient issus de croisements contrôlés ou d'une sélection de masse dans une population de plants issus de semis ou bien d'une sélection de phénotypes adultes en peuplement;
- La production des pieds-mères exempts de maladies à partir de clones ou de variétés existantes;
- La propagation des plantes sexuellement stériles et la création de nouveaux génotypes.

En tant que moyen de reproduction conforme, la micropropagation est donc la technique idéale pour tirer rapidement profit des programmes de sélection et d'amélioration génétiques en multipliant directement, par cette voie, les essences rares dont le prix de vente est suffisamment élevé. Elle permet alors de constituer rapidement un grand nombre de copies du clone, qui pourront être installées en parc à pieds-mères et qui serviront par la suite à assurer la production commerciale de plants issus de boutures.

2. Conditions de culture

La première condition de réussite d'une culture est l'asepsie. À cet effet, toutes les manipulations sont réalisées sous une hotte à flux laminaire, notamment la préparation du matériel végétal et les différentes étapes de la culture *in vitro*.

À l'exception des eucalyptus et de certaines essences ligneuses médicinales, aromatiques et arboricoles dont les techniques de culture *in vitro* sont combinées avec le microbouturage et le microgreffage *in vitro* à une échelle opérationnelle, la culture *in vitro* des essences forestières n'est pas actuellement utilisée dans les pépinières forestières en Afrique du Nord. Cependant, d'énormes progrès sont réalisés dans le cadre de projets de recherche-développement, dont l'objectif consiste à comprendre les processus physiologiques intervenant dans les différentes phases de la culture *in vitro*, ainsi qu'à développer et à raffiner les techniques de culture *in vitro* appliquées aux essences forestières (chêne liège, caroubier, cèdre de l'Atlas, pin maritime, etc.).

On utilise pour les techniques de culture *in vitro* des essences forestières (chêne liège, caroubier, cèdre de l'Atlas, pin maritime, etc.), une grande diversité de milieux de culture (variations des concentrations de glucides, vitamines, phytohormones, etc.) et de conditions environnementales (température jour et nuit, intensité de lumière, etc.) de même que plusieurs types de matériel végétal (embryons zygotiques, bourgeons apicaux et axillaires issus de plants jeunes et d'arbres âgés, segments nodaux, recours aux boutures issues d'arbres âgés et leur mise en culture pour l'échantillonnage des apex, etc.).

À cet effet, seuls les principes généraux liés aux différentes phases de la culture *in vitro* des essences forestières seront décrits dans le présent document. Le lecteur pourra consulter les références bibliographiques pour avoir une idée éclairée sur l'état d'avancement quant à la mise en application et l'intégration des techniques de culture *in vitro*, qui s'inscrit dans le cadre des programmes d'amélioration génétique des essences forestières et de la production opérationnelle des variétés performantes. Quelques exemples d'intégration opérationnelle de la culture *in vitro* seront énumérés et décrits brièvement dans le chapitre 4.

2.1 Préparation du matériel végétal

A priori, toutes les parties de la plante peuvent être utilisées; cependant, les racines ne le sont que rarement car leur désinfection pose des problèmes importants.

Afin de réussir la culture *in vitro* des arbres forestiers, certains facteurs importants sont à considérer, à savoir : la préparation de la plante sur laquelle l'organe ou le tissu à cultiver sera prélevé, sa juvénilité et la période de prélèvement.

Les tiges herbacées sont fragmentées en segments de deux à quatre entre-nœuds. Les feuilles sont sectionnées au niveau des pétioles. Ces échantillons ainsi préparés sont désinfectés pour éliminer les contaminations par les agents pathogènes (bactéries, virus, champignons).

La méthode de désinfection la plus répandue consiste à tremper les explants dans de l'alcool à 70 % pendant quelques secondes, puis à les immerger dans un bain d'hypochlorite de calcium (5 à 10 %) pendant 10 à 15 minutes. Après chaque traitement, le matériel est lavé plusieurs fois dans de l'eau distillée stérile. Dans certains cas, l'alcool à 70 % peut être remplacé par de l'eau oxygénée. L'emploi d'un agent mouillant (0,1 % de tween 20) peut favoriser l'action de l'hypochlorite de calcium

ou de sodium. Des fongicides comme le Rovral peuvent également être utilisés en complément. Le chlorure mercurique est utilisé dans les cas de contamination fongique importante. Cependant, on doit trouver un compromis entre les exigences d'une stérilisation complète et le souci de préserver l'intégrité des tissus.

D'une manière générale, les difficultés que l'on rencontre pour introduire le matériel végétal à des conditions axéniques s'accroissent avec l'âge des organes utilisés. Il est donc normal, chaque fois que cela est possible, de recourir à des conditions aseptiques dès la germination. D'ailleurs, plus l'explant est petit, moins il y a de risques de contamination.

Lors du choix des tissus à prélever, seuls les échantillons sains prélevés sur des plantes vigoureuses sont utilisés.

2.2 Préparation des milieux de culture

Les milieux nutritifs utilisés en culture *in vitro* contiennent principalement les éléments suivants :

a) Éléments minéraux

- Six macroéléments présents à des concentrations élevées tels que l'azote (N), le calcium (Ca), le potassium (K), le soufre (S), le magnésium (Mg) et le phosphore (P);
- Des microéléments, appelés parfois oligo-éléments, qui jouent un rôle essentiel bien qu'ils ne soient nécessaires à la plante qu'en faibles concentrations. Les principaux d'entre eux sont le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le bore (B), le chlore (Cl), le cobalt (Co), le nickel (Ni).

b) Éléments organiques

- Sucres :

Dans le cas de tissus végétaux placés en culture *in vitro*, l'assimilation chlorophyllienne est nulle ou insuffisante pour assurer la survie et le développement de l'explant.

L'alimentation carbonée est apportée sous forme de saccharose à des doses variant de 10 à 40 g/l, notamment lors des premières phases.

- Vitamines :

L'emploi de diverses vitamines favorise fréquemment le développement des vitroplants en cultures *in vitro*. Ces vitamines appartiennent essentiellement au groupe B.

- Acides aminés :

Certaines observations ont révélé que l'apport d'acides aminés favorise la prolifération de certains composés (acide nicotinique, acide folique, biotine, etc.).

c) Régulateurs de croissance

Les principaux régulateurs de croissance sont regroupés dans les trois catégories suivantes :

- Les auxines : l'acide indole 3-acétique (AIA), l'acide naphthalène acétique (ANA) et l'acide indole butyrique (AIB). Elles sont connues pour leur rôle dans la rhizogenèse et la croissance cellulaire;
- Les cytokinines : kinétine, benzylaminopurine (BAP), zéatine. Elles ont un rôle dans la formation des bourgeons et dans les divisions cellulaires;
- Les gibbérellines : acide gibbérellique GA3. Dans certains cas, elles ont un rôle sur la levée de la dormance et l'élongation des plantes.

Principalement, les deux premières catégories d'hormones sont celles qui sont utilisées seules ou en combinaison. L'apparition du phénomène souhaité (bourgeonnement ou rhizogenèse) résulte souvent d'un équilibre entre ces deux catégories d'hormones. Le rapport cytokinines/auxines est déterminant pour la morphogenèse.

Les milieux de culture comportent également du fer chélaté FeEDTA, de l'agar (5 g/l) et des régulateurs de croissance qui sont incorporés aux milieux de culture avant leur autoclavage. Le pH est ajusté à 5,7 à l'aide de KOH. Après mélange, tous ces composés sont stérilisés par autoclavage pendant 20 minutes, à 115 °C. Les milieux sont ensuite coulés, sous une hotte à flux laminaire, dans des tubes (25 x 200 mm) à raison de 20 ml par tube ou dans des bocaux (850 ml) à raison de 150 ml par bocal.

La majorité des milieux sont dérivés de la composition préconisée par Murashige et Skoog (Tableau 2).

Tableau 2. Comparaison de la composition chimique de trois milieux de culture de base

	Knop (1865)		MS (Murashige et Skoog, 1962)		WPM (Lloyd et McCown, 1981)	
	mg/L	mM/L	mg/L	mM/L	mg/L	mM/L
Macro-éléments						
NH ₄ NO ₃			1650	20,615	400	4,997
KNO ₃	250	2,473	1900	18,793		
CaCl ₂ .2H ₂ O			440	2,993	96	0,653
Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O	1000	4,235			556	2,354
MgSO ₄ 7H ₂ O	250	1,014	370	1,501	370	1,501
K ₂ SO ₄					990	5,681
KH ₂ PO ₄	250	1,837	170	1,249	170	1,249
Micro-éléments						
K ₃ BO ₃			6,20	0,1	6,20	0,1
MnSO ₄ H ₂ O			16,90	0,1	22,30	0,13
ZnSO ₄ 7H ₂ O			8,60	30.10 ⁻³	8,60	30.10 ⁻³
KI			0,83	5.10 ⁻³		
Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O			0,25	10 ⁻³	0,25	10 ⁻³
CUSO ₄ 5H ₂ O			0,025	0,1.10 ⁻³	0,25	10 ⁻³
CoCl ₂ 6H ₂ O			0,025	0,1.10 ⁻³		
FeSO ₄ 7H ₂ O			27,8	0,1	27,8	0,1
NaEDTA			37,3	0,1	37,3	0,1
Vitamines						
Myo-inositol			100	0,555	100	0,555
Acide nicotinique			0,5	4,06.10 ⁻³	0,5	4,06.10 ⁻³
Pyridoxine HCl			0,5	2,43.10 ⁻³	0,5	2,43.10 ⁻³
Thiamine HCl			0,1	0,296.10 ⁻³	1	2,96.10 ⁻³
Glycine			2	26,6.10 ⁻³	2	26,60.10 ⁻³
Agar	7.10 ³		7.10 ³		7.10 ³	
pH	5,6-5,8		5,6-5,8		5,6-5,8	

Mise en culture

Après la désinfection du matériel végétal, les explants sont alors excisés puis introduits dans les tubes ou dans les bocaux contenant le milieu nutritif

gélifié. Ces manipulations sont effectuées sous une hotte stérile à flux laminaire (Figures 3-1 a-b).

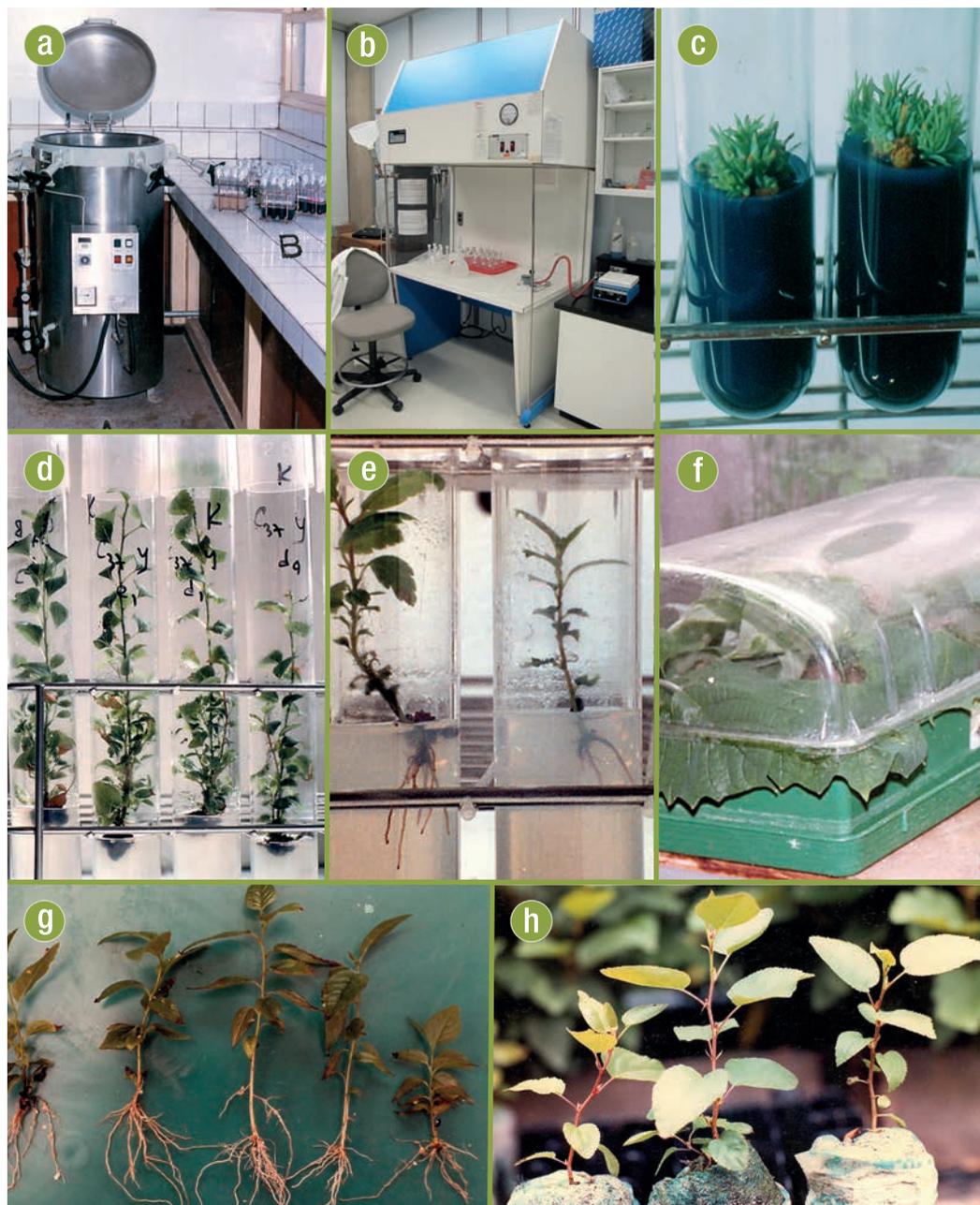


Figure 3-1. a) Autoclave utilisé pour la stérilisation des milieux de culture; b) hotte à flux laminaire indispensable pour les manipulations en conditions stériles; c) bourgeons adventifs mis sur un milieu riche en charbon actif pour favoriser leur allongement; d) allongement des tiges sur un milieu contenant la BAP; e) phase de la rhizogenèse sur milieu riche en AIB; f) mini-serre utilisée pour l'acclimatation des vitroplants; g) vitroplants dotés d'un bon système racinaire; h) bonne croissance des vitroplants après leur transfert en sol.

Une fois l'explant mis en culture, les tubes ou bocaux (figure 3-2a-b) sont placés dans une chambre de culture durant une photopériode de 16 h et à des températures optimales pour la croissance (jour/nuit : 26°C/24°C).

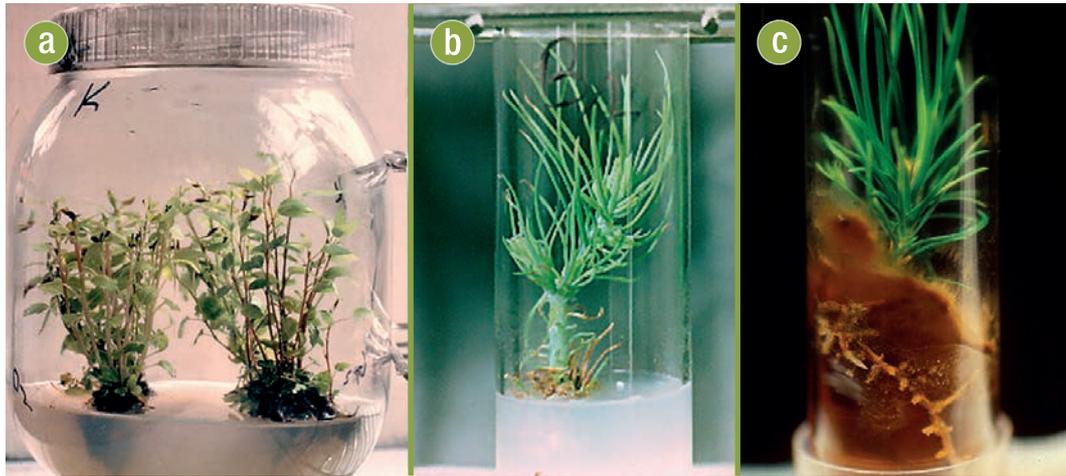


Figure 3-2. a) Multiplication des explants d'aulne dans un bocal; b) initiation et développement des bourgeons d'un explant de pin maritime dans un tube à essai; c) amélioration de l'initiation de nouvelles racines latérales en présence de champignons ectomycorrhiziens (*Pisolithus tinctorius*) en conditions de culture *in vitro*.

Cependant, les températures et la photopériode sont réajustées selon les espèces. Certains laboratoires travaillent en jours continus et à température constante. Dans le cas de nos travaux en chambre de culture, la photopériode est de 18 h à 6h et la thermopériode est de 25°C à 20°C. L'éclairage est assuré par des tubes Sylvania Gro-Lux Environ (130 Watts/m²).

3. Principales étapes de la culture *in vitro*

Cinq principales étapes, ou phases, caractérisent la culture *in vitro* : l'initiation, la multiplication, l'élongation, l'enracinement et l'acclimatation (Figure 3-1 c-h).

3.1 Phase d'initiation

Des tissus végétaux (tiges, nœuds, apex, brachyblastes) peuvent être utilisés pour régénérer de nouveaux organes et tissus. Cette phase d'initiation favorise la formation de bourgeons néoformés, adventifs ou axillaires. Elle nécessite parfois plusieurs passages sur un, deux ou trois milieux différents pour permettre l'obtention d'une souche réactive apte à la multiplication *in vitro*.

3.2 Phase de multiplication

Elle consiste à favoriser l'apparition de pousses axillaires ou adventives, qui seront à leur tour fragmentées et multipliées. Cette phase permet de multiplier de façon indéfinie le matériel de départ en culture *in vitro*, en vue d'amortir le prix de la culture primaire sur un grand nombre de copies. Cette étape est la plus importante, simplement parce que le coefficient de multiplication est le critère économique majeur en vue d'une propagation à des fins commerciales. L'objectif est de reproduire le nombre maximal de plantules utilisables à chaque subculture. Ces plantules doivent avoir une taille déterminée qui facilite leur individualisation de façon rapide, surtout si leurs dimensions sont dotées d'une grande uniformité. La production est basée essentiellement sur le développement de bourgeons axillaires et adventifs, le choix étant avant tout fondé sur la capacité de multiplication.

3.3 Phase d'élongation

L'élongation consiste à provoquer le développement des bourgeons induits en tigelles de croissance très vigoureuses, l'apparition de bourgeons n'étant plus recherchée. D'une manière générale, l'élongation des tiges est inhibée par une trop forte concentration en cytokinines. Les plantules doivent donc être repiquées sur un milieu sans cytokinines ou à des doses très faibles. Il est bien connu que

l'incorporation de charbon actif dans les milieux de culture a souvent un effet bénéfique sur la croissance et l'organogenèse des tissus végétaux.

3.4 Phase d'enracinement (ou rhizogenèse)

Les vitroplants issus de la phase d'élongation sont sectionnés en petites tigelles individuelles de 15 à 20 mm, pour ensuite être repiquées sur un milieu d'enracinement. Cette étape peut se dérouler en conditions stériles, mais un repiquage sur milieu gélosé riche en auxines est alors nécessaire. Le repiquage peut se faire également sur un substrat de culture spécifique au bouturage sous des conditions humides, à l'aide de différents systèmes de brumisation à contrôle statique ou dynamique, de brouillard ou à l'étouffée. Le choix de la technique est fonction de la réactivité de l'espèce. Ainsi, pour le merisier, l'enracinement se fait *in vitro* et les plantes enracinées sont acclimatées, tandis que pour le *Sequoia sempervirens*, l'enracinement se fait en serre. Cette phase est considérée comme l'étape la plus difficile pour les ligneux et les arbres forestiers.

L'enracinement est quelquefois facilement obtenu *in vitro* en ajoutant une auxine (AIA, AIB) dans le milieu, en diminuant la pression osmotique ou en augmentant l'intensité lumineuse. L'inoculation à l'aide de champignons ectomycorhiziens contribue également à améliorer l'enracinement des vitroplants (Figure 3-2c) à cause de la production d'auxines, ainsi qu'à augmenter la surface d'absorption des racines. Cette augmentation est favorisée par la combinaison de la présence des ectomycorhizes et du développement de la phase extramatricielle. Ces champignons libèrent également des substances antifongiques qui permettent d'inhiber la croissance de plusieurs champignons pathogènes.

Il peut y avoir intérêt à diminuer la concentration du milieu en sels minéraux et à placer les plantes à l'obscurité. D'ailleurs, l'élongation des racines est favorisée par un repiquage sur un milieu sans auxine, tandis qu'elle peut être accélérée par l'emploi de charbon actif (5 g/l).

L'enracinement n'est pas toujours une étape facile, mais sa réussite nécessite une optimisation des principales phases selon les espèces.

3.5 Phase d'acclimatation

Cette phase permet de transformer les pousses issues de multiplication en jeunes pousses lignifiées. Quelle que soit la méthode d'enracinement choisie, les plants obtenus doivent être acclimatés aux

conditions extérieures. Cette étape est souvent délicate, car il s'agit pour la plante de s'adapter des conditions d'humidité saturante du tube de culture à celles de l'extérieur.

À la sortie des bocalux ou des tubes, les explants sont d'abord nettoyés de l'agar puis plongés durant une à deux minutes dans une solution aqueuse de Rovral 1 à 2 g/l, avant d'être repiqués en terrines dans du substrat horticole stérile dont la composition est variable, selon l'approvisionnement et le coût des différents constituants (terreau forestier, sable fin, tourbe, vermiculite, perlite, etc.). Les pots sont ensuite bassinés puis arrosés avec un liquide nutritif riche en azote, en potassium et en phosphore. Les plantules sont enfin installées dans des mini-serres, à l'abri d'une lumière trop vive et sous une atmosphère saturée en humidité.

4. Embryogenèse somatique (ES)

4.1 Mise en contexte

À l'échelle mondiale, près de 50 % du bois récolté à des fins commerciales provient de plantations forestières. Plusieurs pays ont adopté des stratégies et des politiques claires et précises en matière de reboisement, en vue de satisfaire leurs besoins en produits ligneux, d'augmenter leur compétitivité sur le marché international, de réduire les superficies consacrées à la production ligneuse et les coûts de transport, de diminuer la pression sur les forêts naturelles et de contribuer à la conservation de la diversité génétique. Ces pays (Nouvelle-Zélande, États-Unis d'Amérique, Brésil, Chili, certains pays scandinaves, quelques pays africains, etc.) ont déjà commencé à bâtir leur modèle concurrentiel de l'industrie du bois en mettant l'accent sur la valeur de chaque arbre, et non uniquement sur celle du peuplement. Ce virage est rendu possible grâce au recours aux plantations de haute productivité. Ces dernières sont constituées de variétés multi-clonales produites par embryogenèse somatique ou par bouturage, permettant ainsi d'augmenter de 40 à 60 % la productivité forestière et d'optimiser la qualité du bois (moins de grosses branches, densité élevée du bois, etc.).

Le recours à l'utilisation de clones ou de variétés somatiques contribue à l'amélioration de l'uniformité et de l'augmentation de la valeur ajoutée du bois. Cependant, il ne s'agit pas d'une foresterie mono-clonale, mais plutôt d'une foresterie multi-clonale hautement diversifiée génétiquement. En effet, l'utilisation de plusieurs clones ou variétés somatiques non apparentés (18 à 40) dans le cadre de plantations productives permet d'éviter les problèmes de sensibilité et de perte totale des

plantations lorsqu'elles seront soumises aux stress biotiques et abiotiques. Le respect de la diversité génétique contribue également à l'atteinte de la rentabilité souhaitée, car les effets négatifs associés aux risques et à l'incertitude diminuent. Le choix de plusieurs variétés ou clones contribuera également à sélectionner des variétés dotées de caractères adaptatifs (tolérance accrue aux stress biotiques et abiotiques : sécheresse, gel, insectes, maladies, etc.) et d'intérêt économique (croissance, forme du tronc, densité, qualité de la branchaison, etc.).

Cette biotechnologie ne devrait être utilisée et adaptée qu'aux variétés des espèces forestières et agroforestières de haute valeur génétique dont les retombées socio-économiques sont importantes. Elle pourra également être intégrée dans le cadre des programmes de conservation des ressources génétiques.

4.2 Définition et atouts de l'embryogenèse somatique

L'embryogenèse somatique (ES) est une technique de multiplication végétative clonale ou variétale, qui permet la production rapide et illimitée d'arbres génétiquement identiques à partir d'une seule graine, et ce, sans recourir à la fécondation ni à la transformation génétique. Cette technologie est réservée à la multiplication de variétés hautement productives en quantité et en qualité. Le terme « somatique » signifie que les embryons sont obtenus par voie asexuée.

L'adaptation et la mise en application des techniques de l'ES à l'échelle opérationnelle nécessitent un personnel hautement qualifié et des investissements importants (espace de laboratoire et équipements importants : grandes surfaces de hottes à flux laminaire, grande capacité de cryogénie, azote liquide, autoclave d'un grand volume pour la stérilisation, matériel performant de préparation des milieux, etc.) (Figure 3-3).

En foresterie, l'ES contribue significativement à la réduction du temps nécessaire à la production d'un nombre élevé de clones destinés aux tests clonaux en site de reboisement. À l'inverse de l'organogenèse, les embryons somatiques sont des structures bipolaires porteuses de méristèmes de tige et de racines déjà différenciés. Par contre, les bourgeons adventifs produits par l'organogenèse sont des structures unipolaires dont seul le méristème de tige est différencié. Ces bourgeons seront assujettis à des phases d'élongation et d'enracinement dont le succès reste relativement variable.

Bien qu'on ait documenté des réussites en ES grâce au recours aux techniques d'ES pour quelques essences forestières hautement productives dans les pays développés (épinette blanche, épinette de Norvège, pin radiata, pin maritime, mélèze, etc.), il existe encore quelques obstacles (degré d'amélioration et de sélection du matériel génétique, financement, experts à la fine pointe) à la mise en application de l'ES à l'échelle opérationnelle en foresterie et en agroforesterie, et ce, aussi bien dans les pays développés qu'en voie de déve-



Figure 3-3. Exemple d'une unité fonctionnelle d'ES de production à l'échelle opérationnelle (pépinière Saint-Modeste, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, Canada). a) hotte à flux laminaire pour travailler en conditions stériles ; b) autoclave de grand volume pour la stérilisation; c) système de tables agitatrices; d-e) système de cryogénie; f) examen et sélection des embryons sous loupe binoculaire.

loppement. En Europe, les avancées les plus importantes en matière de mise en application de l'ES sont réalisées sur deux principales essences forestières : l'épinette de Norvège et le pin maritime.

Certains pays en voie de développement ont consenti des efforts afin de développer et d'optimiser les techniques de l'embryogenèse somatique à l'échelle du laboratoire pour les essences forestières et agroforestières à usages multiples (agrosylvopastoral, alimentaire, pharmaceutique, cosmétique, etc.) et de haute valeur commerciale, dont les retombées socio-économiques sont indéniables (eucalyptus, arganier, pin radiata, pin pignon, cèdre, caroubier, chêne liège, etc.).

Afin d'illustrer les différentes phases essentielles de l'ES appliquées à une essence forestière à une échelle opérationnelle, l'accent a été mis sur l'épinette blanche (Figure 3-4), une essence nord-américaine dont le programme d'amélioration génétique est axé sur le développement des variétés clonales hautement productives. De plus, l'inté-

gration de l'ES est fonctionnelle à une échelle opérationnelle, à la fois pour la production de variétés destinées aux tests clonaux et pour l'intégration des pieds-mères somatiques dans la filière de bouturage de la province du Québec (Canada). Les principales phases de l'ES sont :

Induction : le tissu embryogène diploïde (2n) est induit à partir des embryons zygotiques des graines (matures ou immatures) ou à partir des cotylédons et, dans certains cas, à partir des aiguilles de certains arbres matures possédant les caractéristiques souhaitées. Le tissu embryogène est obtenu après trois à dix semaines en culture *in vitro*. Le tissu embryogène haploïde (n) peut être induit à partir du mégagamétophyte. Le tissu embryogène se distingue par son aspect blanc, duveteux et translucide. Le tissu embryogène continue à proliférer tant qu'il est maintenu dans ce milieu d'initiation. L'induction du tissu embryogène à partir des semences est relativement plus facile par comparaison à l'induction à partir des aiguilles.

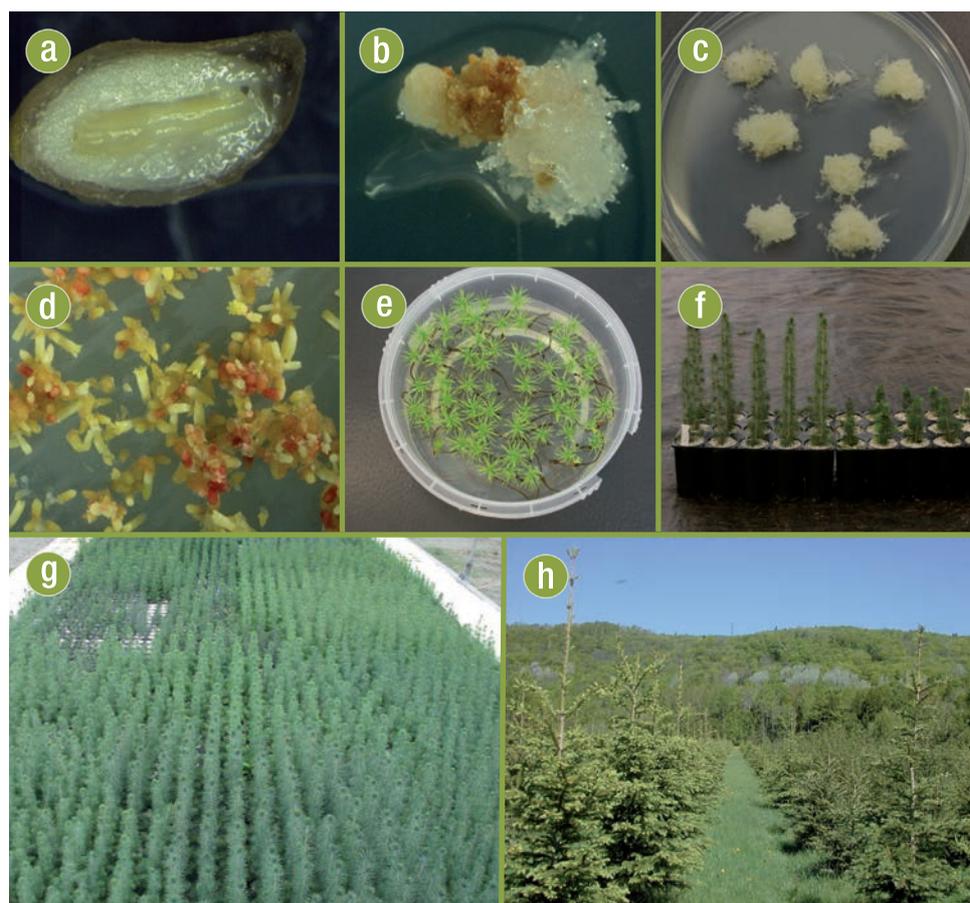


Figure 3-4. Les principales étapes de l'embryogenèse somatique chez les conifères : Cas de l'épinette blanche au Québec (Canada). a) Dissection de la graine immature; b) induction du tissu embryogène; c) multiplication et maintenance du tissu embryogène; d) maturation des embryons somatiques; e) germination des embryons et production de plants somatiques; f) exemple de variabilité de croissance entre les clones en pépinière forestière; g) production de clones d'épinette blanche à l'échelle opérationnelle en pépinière forestière; h) performance des clones somatiques en site de reboisement et variabilité des clones en matière de débournement. Les photos a-d et e sont respectivement prises par Laurence Tremblay et Julie Gingras (pépinière Saint-Modeste, Québec, Canada).

Maintenance : une fois induit, le tissu embryogène doit être maintenu en culture sans perdre sa capacité de multiplication, et ce, après plusieurs transferts sur des milieux frais. La maintenance est un stade intermédiaire de multiplication, qui se situe entre l'induction du tissu embryogène et la maturation des embryons somatiques.

Maturation : après les phases d'induction et de maintenance, il est nécessaire de faire cultiver les tissus sur un milieu de maturation pour permettre le développement des embryons somatiques immatures au stade cotylédonnaire. Cette phase prend généralement de quatre à cinq semaines.

Germination : les embryons somatiques germés sont transférés, selon les objectifs (production au laboratoire, à grande échelle, etc.), dans des contenants variés et fertilisés par une solution appropriée. Le développement des embryons

somatiques conduit à des plants présentant théoriquement les caractéristiques génétiques du plant de départ. Cette étape dure de cinq à six semaines et elle est comparable à l'étape de germination des semences.

Transfert en serre ou en pépinière et plantation sur le terrain : lorsque les plants somatiques produits *in vitro* atteignent le gabarit souhaité (partie aérienne et racines), ils sont transférés par la suite en sol. Avant ce transfert en serre ou en pépinière, les plants somatiques sont acclimatés selon différentes procédures spécifiques à chaque espèce et à chaque laboratoire (recours ou non à la brumisation ou au brouillard). Après une période de croissance et l'atteinte des normes de qualité morpho-physiologiques (Figure 3-5), les plants somatiques sont mis en terre dans des sites de reboisement.

	TC (%)	H (cm)	D (mm)	H/D	DA	LA (mm)	SS (g/cm ²)
MIT-2 X PTH-1 80	82	39.9l	6.23b	6.48d	1.73b	12.9a	6.11a
81	80	34.4h	6.23b	5.58c	1.43a	11.9a	7.40b
PFS-10 X PFS-2 6	82	34.8h	6.42c	5.47c	1.83b	11.5a	5.78a
PTH-1 X PTH-8 2	92	36.5j	6.58c	5.58c	1.55a	13.3a	6.21a
PTH-3 X ALG-7 90	92	48.9n	6.76c	7.27e	1.62a	12.8a	6.27b

Figure 3-5. Caractérisation de la croissance et de l'architecture des plants de différents clones somatiques d'épinette blanche (2+0), (TC : taux de conformité selon 27 critères et normes de qualité morpho-physiologique des plants destinés au reboisement; H : hauteur (cm), D : diamètre (mm), DA : densité des aiguilles (nombre d'aiguilles/mm), LA : longueur des aiguilles (mm), SS : surface spécifique des aiguilles (g/cm²) .

L'avantage principal de l'ES est la conservation de la juvénilité à long terme grâce à la cryoconservation des tissus embryogènes des variétés dans l'azote liquide (-196 °C) (Figure 3-3 d-e) jusqu'à ce que leur performance soit déterminée en site de reboisement (Figure 3-4 h). La cryoconservation contribue également à la conservation des ressources génétiques dans un espace réduit, et ce, à un faible coût.

Généralement, les génotypes sont conservés sous forme de tissus embryogènes ou d'embryons immatures ou encore, comme plus récemment, sous forme d'embryons matures déshydratés. Cependant, il s'avère nécessaire d'optimiser les techniques de cryogénie selon les essences tout en instaurant un processus rigoureux de contrôle de la viabilité à moyen et à long terme du tissu embryogène et des embryons déshydratés, ainsi que la régénération de plants à partir du matériel cryoconservé. La conservation de la banque cryogénique dans deux endroits différents s'avère une priorité de premier plan afin d'éviter la perte totale des clones à cause de pannes ou de catastrophes imprévisibles (incendies, inondations, pannes simultanées d'électricité et du groupe électrogène qui prend la relève, etc.).

Dans des recherches actuelles on tente l'encapsulation dans des billes d'alginate des embryons somatiques de différentes espèces forestières, dont l'eucalyptus et le chêne liège, sans altérer leur viabilité, afin d'obtenir des graines artificielles. Celles-ci pourront être desséchées au froid jusqu'à des teneurs en eau de l'ordre de 10 %, en vue de leur stockage.

Pour de nombreuses espèces exploitées à des fins commerciales, l'uniformité de la croissance ou de la période de fructification est importante sur le plan économique. L'uniformité peut aussi avoir son importance pour les essences agroforestières à usages multiples.

Chez les conifères, l'embryogenèse somatique a plusieurs avantages et elle ouvre de nombreuses perspectives en amélioration génétique. Elle possède en effet un grand potentiel pour la multiplication massive des clones sélectionnés, ce qui permet d'introduire les produits de l'amélioration génétique au reboisement. De plus, le tissu embryogène constitue un matériel de choix pour l'étude des mécanismes moléculaires et pour l'introduction de gènes d'intérêt permettant, par exemple, d'induire une résistance à certains pathogènes.

Différents travaux ont démontré que la régénération de clones somatiques, par exemple, d'épinette blanche et d'épinette d'intérieur à partir d'embryons somatiques est appropriée pour les programmes de reboisement. Bien que des cas rares de variation somaclonale (changements génétiques ou épigénétiques induits pendant la phase de callogenèse des cellules végétales cultivées *in vitro*) aient été signalés, le faible taux de variation n'est pas considéré comme un obstacle à la production de plants génétiquement conformes. Depuis la première publication sur l'embryogenèse somatique chez une espèce résineuse en 1985, des progrès considérables ont été réalisés pour l'optimisation des différents stades. Néanmoins, les mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires qui régissent le processus de l'embryogenèse somatique et, plus particulièrement, la maturation des embryons somatiques ne sont pas encore bien cernés et doivent être mieux compris afin de faciliter le transfert de cette biotechnologie à une échelle opérationnelle, et ce, à moindre coût et à la portée des utilisateurs potentiels. Comme chez l'embryon zygotique, la formation de l'embryon somatique est contrôlée par des facteurs génétiques et environnementaux. Ces derniers sont particulièrement importants pour moduler le développement de l'embryon somatique en raison de l'absence de mégagamétophytes. Ainsi, dans le but d'obtenir un embryon morphologiquement comparable à l'embryon zygotique, l'accent a été mis sur les conditions et le milieu de culture pour simuler les processus physiologiques qui se déroulent au sein du mégagamétophyte.

4.3 Intégration de l'embryogenèse somatique dans la filière de reboisement de haute productivité

Les arbres produits à partir de semences de vergers à graines de 1^{ère} génération présentent un gain moyen en volume ne dépassant pas 13 % par rapport à une population naturelle. Ce gain peut atteindre 30 % si on utilise des graines provenant de croisements dirigés. Le rendement en volume sera encore supérieur (40 à 60 %) avec l'utilisation des meilleurs clones produits par embryogenèse somatique.

Les plants produits par ES sont évalués en pépinière et dans des tests clonaux où les meilleurs sont sélectionnés selon des critères prédéfinis. Ces clones sélectionnés seront multipliés pour produire des plants pour le reboisement. Ils pourront également être intégrés aux programmes d'amélioration génétique et aux plans de croisements pour la sélection de la prochaine génération d'amélioration.

Dans le cadre d'un programme d'ES de grande envergure au Québec, les responsables des différents projets de recherche sont actuellement en train d'intégrer des clones produits par ES dans les filières de bouturage et de semences à l'échelle opérationnelle. Le pedigree et le catalogue de performance de plus de 1500 clones en pépinière (hauteur, diamètre, architecture, nombre de branches, nutrition minérale, croissance des racines, etc.) et en site de plantation sont documentés (Figure 3-5). Les meilleurs clones sont également évalués quant à leur intégration dans la filière du bouturage, des croisements dirigés et de la production de semences (Figure 3-6).

La sélection s'appuie sur les réponses morpho-physiologiques et les comportements des clones aux différentes phases de l'ES, la croissance en pépinière, le bouturage (enracinement, croissance, etc.) et la performance en plantation en vue de définir une stratégie de sélection précoce fondée sur des connaissances scientifiques solides. Les premiers résultats sont fort encourageants. Dans ce cas précis de l'utilisation des clones, nous avons tenu compte de l'héritabilité clonale (individuelle) et de la traçabilité des boutures issues du même clone.

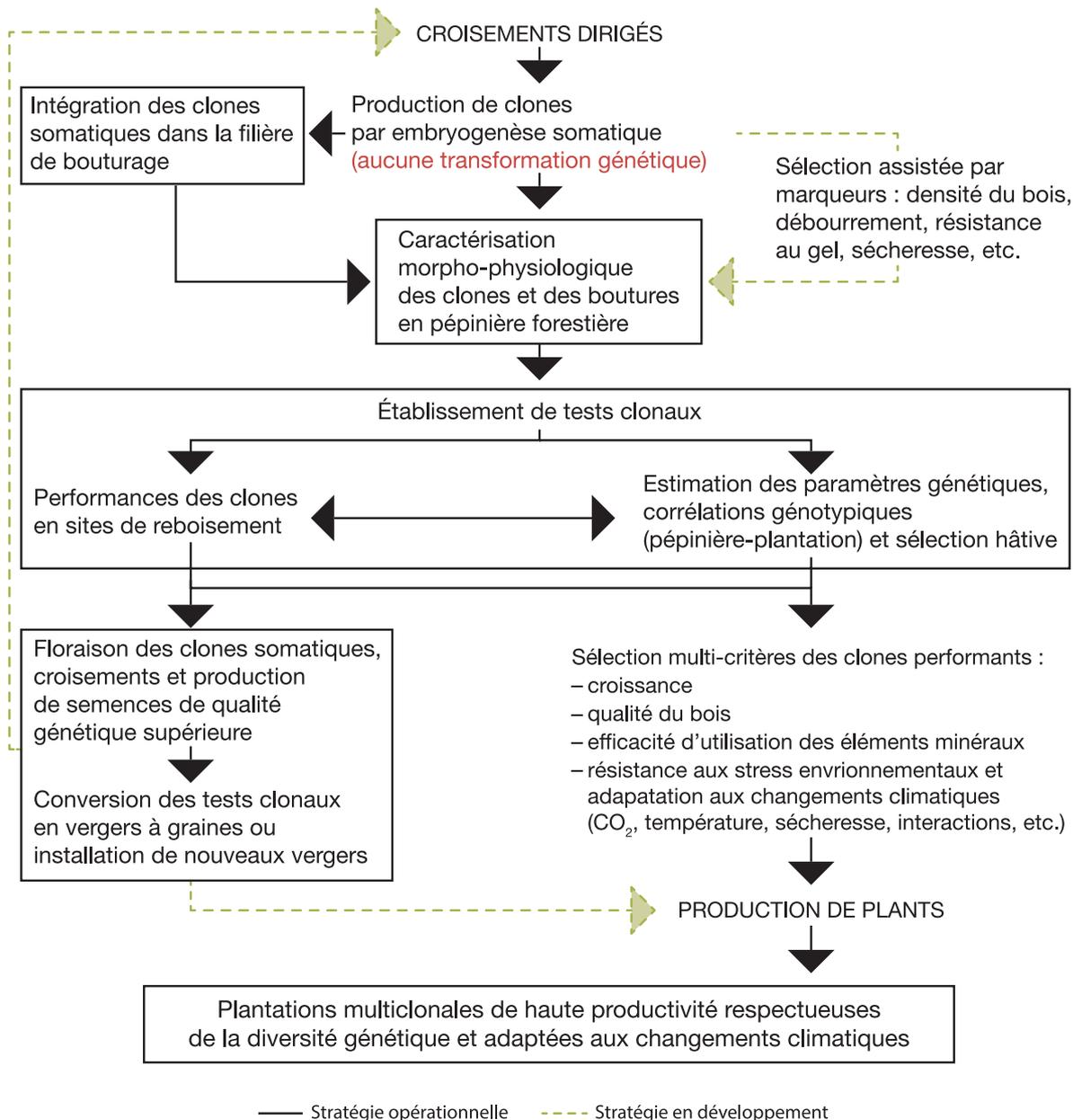


Figure 3-6. Exemple simplifié de stratégies d'intégration opérationnelle de l'embryogenèse somatique dans le programme d'amélioration génétique de l'épinette blanche au Québec (Canada).

5. Conclusion et perspectives d'avenir

Les programmes d'amélioration génétique et la multiplication des arbres exceptionnels se heurtent à un défi de taille, qui est la relation souvent inverse entre l'utilisation des arbres matures et leur aptitude à la multiplication végétative. Cet obstacle limite la diffusion rapide et la conservation des variétés aussi bien locales qu'exotiques. Pour pallier ce problème, les techniques de multiplication végétative ou les biotechnologies appliquées aux arbres forestiers et agro-forestiers (arganier, caroubier, olivier, etc.), constituent des approches fiables permettant l'utilisation rapide des variétés hautement productives et à usages multiples.

À cet égard, la micropropagation *in vitro* permet théoriquement l'obtention, en conditions stériles, de très nombreux bourgeons axillaires à partir d'un seul bourgeon pendant une période relativement très courte. Ces bourgeons sont multipliés, allongés en tigelles et enracinés en présence d'hormones. Ces plants sont soit utilisés directement en plantation, soit intégrés directement dans les filières de microgreffage *in vitro* ou de bouturage comme pieds-mères. Il s'agit d'une technique très prometteuse, qui est relativement plus efficace que le bouturage classique. À cet effet, plusieurs essences feuillues à l'échelle mondiale sont multipliées par micropropagation *in vitro* (eucalyptus au Brésil et plusieurs pays d'Afrique, merisier et noyer en France, bouleau en Suède, chênes en Norvège, etc.). Pour les essences résineuses, des succès obtenus grâce à cette technique sont observés en Nouvelle-Zélande et au Chili pour le *Pinus radiata*.

À l'inverse des arbres fruitiers, les résultats chez les arbres forestiers sont encore bien modestes, malgré les progrès considérables réalisés lors des dernières décennies. Si la culture *in vitro* contribue au « rajeunissement » et à la conservation des ressources génétiques, elle n'est toutefois pas efficace à partir du matériel mature. Le recours au matériel âgé engendre généralement des pertes plus ou moins importantes à cause de divers facteurs (présence d'agents pathogènes, contaminations, âge physiologique, etc.).

L'état physiologique de l'explant mis en culture est ainsi capital pour sa réactivité. La phénologie et les périodes de prélèvement des explants selon la saison de croissance jouent également un rôle déterminant, car les individus sélectionnés sont issus de la population soumise aux conditions naturelles. L'explant primaire le plus courant est constitué d'un simple nœud portant un bourgeon

axillaire. Les différents types de culture déjà décrits sont pratiqués chez les arbres forestiers avec des taux de succès variables. Le but de ces cultures est la multiplication intensive, mais aussi la création de nouveaux génotypes intéressants.

Les facteurs qui influencent la réponse morphogénétique sont nombreux et leur effet varie selon les espèces. Pour chaque espèce, il faut donc optimiser avec soin les conditions de culture et le milieu nutritif, dont la composition doit changer à chaque étape de l'organogenèse (développement ou néoformation de bourgeons, multiplication, élongation, enracinement). Des variations clonales importantes ont été constatées. Des variations saisonnières existent également, possiblement en raison de facteurs cultureux ou de l'état physiologique des plantules.

La multiplication *in vitro* présente l'avantage d'être plus rapide et intensive, mais elle s'avère une technique relativement coûteuse par comparaison au bouturage. Étant donné que la valeur commerciale des plants forestiers est faible par rapport aux plants horticoles et fruitiers, il s'avère nécessaire de trouver un compromis entre les coûts, les objectifs, les progrès réalisés et les gains génétiques escomptés. Pour des espèces dont les plantations sont importantes (comme l'eucalyptus), le recours aux techniques de la culture *in vitro* contribue à l'avancement rapide des programmes d'amélioration génétique par l'installation, par exemple, de tests clonaux et de parcs à pieds-mères.

Pour des raisons économiques, l'application commerciale est actuellement limitée à la propagation d'essences précieuses. La culture *in vitro* de la plupart des espèces forestières concernées n'est pas utilisée directement pour la production de plants destinés au reboisement, mais elle permet d'avancer plus rapidement les programmes d'amélioration génétique et d'obtenir des pieds-mères sains largement utilisés dans la filière de bouturage de masse ou clonale.

Grâce à la découverte de l'embryogenèse somatique, la multiplication des conifères à partir de graines immatures et matures constitue une voie très prometteuse pour le développement de la foresterie clonale et la conservation des ressources génétiques par la cryogénie. De récents progrès sont également réalisés quant à l'utilisation des aiguilles ou des tissus prélevés des bourgeons d'arbres matures pour conserver, régénérer et multiplier des individus ayant des caractéristiques exceptionnelles.





Chapitre 4

Stratégies et intégration des techniques de la multiplication végétative pour la production et la conservation des essences forestières et agroforestières face aux changements climatiques

Lamhamedi, M. S. et H. Sbay, 2015. *Stratégies et intégration des techniques de la multiplication végétative pour la production et la conservation des essences forestières et agroforestières face aux changements climatiques*. Dans : Sbay, H. et M. S. Lamhamedi, 2015 (éds.). *Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord*. Royaume du Maroc, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Centre de Recherche Forestière, p. 79-96.

Chapitre 4 : Stratégies et intégration des techniques de la multiplication végétative pour la production et la conservation des essences forestières et agroforestières face aux changements climatiques

1. Introduction

En plus de l'exploitation du bois d'œuvre, les forêts méditerranéennes et, plus particulièrement, celles de l'Afrique du Nord sont soumises à une pression humaine extrêmement forte et croissante en raison du défrichement et de la mise en culture des terres marginales, du surpâturage et des coupes spécifiques au ramassage du bois de feu (bois de chauffage et charbon de bois). À cause des usages traditionnels des espaces boisés et pastoraux, combinés à l'utilisation diversifiée et la valorisation des essences forestières et des arbustes à usages multiples (pharmacopée traditionnelle et alimentaire, produits aromatiques et médicinaux, produits cosmétiques et parfumerie, fourrage, apiculture, etc.), certains écosystèmes de même que les populations qui en dépendent pourraient subir des modifications majeures, voire irréversibles, surtout avec l'accélération manifeste des changements climatiques.

En effet, depuis 1970, le changement global du climat en zone méditerranéenne s'est traduit par un réchauffement moyen de près de 2°C et une diminution des précipitations de l'ordre de 20 % dans certaines zones. L'Afrique du Nord sera davantage touchée par un réchauffement compris entre 3 et 4°C, dont la probabilité est estimée à 50 %. En outre, à l'horizon 2050, les ressources en eau pourraient subir une réduction significative de 30 à 50 %. Ces changements pourraient également se traduire par des étés bien plus chauds et secs et des événements extrêmes plus marqués (augmentation de la fréquence des feux, épidémies d'insectes et maladies, etc.). Ces changements globaux pourraient être certainement accompagnés par une évolution de l'aire de répartition des espèces, susceptible d'entraîner une migration des essences forestières. Ainsi, par exemple, un réchauffement de 1°C pourrait engendrer un déplacement des espèces en latitude vers le nord de 180 km et en altitude de 150 m.

La gestion durable des écosystèmes forestiers et agrosylvopastoraux en Afrique du Nord, sous l'angle du maintien et de la fourniture de biens et services multiples, se trouve confrontée à un défi de taille spécifique à la mise en application de stratégies

opérationnelles. L'objectif de ces stratégies consiste à trouver un équilibre, d'une part, entre la satisfaction des besoins en produits ligneux de chaque pays et des populations riveraines, dont la pression sur les écosystèmes forestiers ne cesse d'augmenter et, d'autre part, la restauration et la conservation de la diversité des ressources génétiques à usages multiples.

Ainsi, le recours au développement de programmes bien structurés qui sont axés sur la sélection génétique et les techniques de multiplication végétative des essences hautement productives, à usages multiples et de haute valeur économique et écologique contribuera certainement à l'amélioration du niveau et de la qualité de vie des populations rurales. Ces techniques pourront également être utilisées dans le cadre de programmes de conservation *ex situ* des ressources génétiques (espèces commerciales, espèces à usages multiples, populations de différentes essences marginales et périphériques ou largement utilisées et menacées de disparition, etc.), et ce, de façon complémentaire aux programmes de conservation *in situ*.

Dans un premier temps, les techniques de multiplication végétative, de biotechnologie forestière et de génomique forestière ont été élaborées dans les laboratoires des pays développés axés sur les principales essences forestières. Les programmes d'amélioration génétique et de plantations forestières et agroforestières hautement productives établis aussi bien dans les pays développés que ceux en voie de développement ont facilité la mise en application de ces techniques.

En Afrique du Nord, les techniques de multiplication végétative (greffage, bouturage, culture *in vitro*) sont utilisées à l'échelle opérationnelle pour certaines essences agroforestières et forestières à croissance rapide et de grande valeur ajoutée. Ces techniques sont également utilisées dans le cadre de la multiplication des plantes ligneuses aux propriétés médicinales et aromatiques des écosystèmes forestiers. Selon les stratégies de chaque pays d'Afrique du Nord, ces techniques ont été développées et intégrées aux différentes filières forestières et agroforestières dans le cadre de projets de coopération bilatérale, de formation

des formateurs et de développement des secteurs forestiers, agroforestiers et agricoles. Dans le cadre des programmes de sauvegarde, de multiplication et de reboisement des essences forestières et agroforestières et des plantes ligneuses aromatiques et médicinales d'intérêt économique, différents laboratoires du secteur privé de la culture *in vitro* en Afrique du Nord se sont intéressés à développer ces techniques pour répondre à la demande nationale.

Voici les principaux objectifs du présent chapitre :

- i) Décrire quelques éléments d'orientation et stratégies d'utilisation des principales techniques de multiplication végétative des ressources forestières et agroforestières;
- ii) Souligner, à l'aide d'exemples, l'utilisation et l'intégration de la multiplication végétative des arbres en Afrique du Nord et ailleurs;
- iii) Faire ressortir le principe selon lequel la modernisation de la filière des pépinières forestières est une stratégie de développement incontournable pour assurer la production de plants de haute qualité morpho-physiologique et la réussite des reboisements;
- iv) Démontrer l'importance de la multiplication végétative dans la conservation des ressources génétiques face aux changements climatiques.

2. Complémentarité, éléments d'orientation et stratégies d'utilisation des principales techniques de multiplication végétative des ressources forestières et agroforestières

À l'échelle mondiale, la multiplication par semences des ressources génétiques forestières et agroforestières destinées au reboisement est la technique la plus utilisée en raison de sa simplicité et de son coût relativement faible par rapport aux techniques de multiplication végétative. Cependant, le recours à l'utilisation des semences ne garantit pas le maintien du plein potentiel génétique, plus particulièrement lorsque l'objectif est de multiplier des individus dotés de traits fortement recherchés (qualité du bois, croissance rapide, résistance aux stress biotiques et abiotiques, rendement en fruits et en huile, floraison abondante pour la production du miel, biomasse foliaire et rendement en huiles essentielles, etc.). Dans ces conditions, seules les techniques de multiplication permettent de garantir le maintien intégral du bagage génétique et la conservation des traits désirés.

Les différentes techniques de multiplication par semences et par voie végétative sont complémentaires et ont chacune leur place dans les stratégies d'amélioration génétique et de production de plants. Le choix d'une technique donnée est intimement lié aux objectifs et aux spécificités du programme de multiplication, de conservation et d'amélioration génétique de chaque espèce ou de chaque variété (clone).

Dans les différents chapitres de ce guide, nous avons clairement démontré la faisabilité technique des principales approches de multiplication végétative utilisées en foresterie et en agroforesterie, notamment le greffage, le bouturage et la culture *in vitro* (organogenèse et embryogenèse somatique).

2.1 Greffage

Malgré la diversité des techniques possibles (écusson, fente simple, couronne, placage, etc.), le greffage est réservé à la conservation et la reproduction d'arbres adultes qui sont généralement inaptés au bouturage et à l'embryogenèse somatique. Le greffage est utilisé pour la création de vergers à graines clonales, la création de banques de clones et la mise en production de certaines espèces forestières et agroforestières. Le recours au greffage permet également de multiplier et de sauvegarder du matériel hautement productif ou des variétés menacées d'extinction et d'intérêt socio-économique.

L'atout majeur du greffage est la conservation de l'âge physiologique du greffon, ce qui lui permet de fleurir et de produire plus rapidement des graines ou des fruits fortement recherchés. Malgré ces avantages, le recours au greffage à une grande échelle reste limité en raison de son faible rendement de production (nombre de greffons/individu), du faible taux de réussite chez certaines espèces et de son coût élevé.

Cependant, cette technique est utilisée depuis des millénaires en Afrique du Nord. Ce savoir-faire est transmis de père en fils au cours des générations. Cette technique est pratiquée pour la production des olives et de l'huile d'olive grâce à la mise en production de l'oléastre sauvage non productif.

En Afrique du Nord, le greffage est utilisé également, par exemple, pour la mise en production des arbres mâles du caroubier. En général, uniquement près de 30 % des arbres issus de semis sont femelles et produisent des caroubes. Pour augmenter la production et davantage valoriser les arbres mâles, il serait judicieux de procéder au greffage d'une

proportion de ces arbres. La proportion optimale des arbres mâles ou hermaphrodites dans une plantation de caroubier est de 5 à 15 %. Outre les plantations, le greffage et la mise en production des arbres mâles du caroubier en forêt contribueront à améliorer les revenus des populations riveraines et à diminuer la pauvreté, tout en assurant la durabilité et la préservation de la diversité génétique de cette ressource.

La technique de greffage doit donc être généralisée et vulgarisée auprès des exploitants de pépinières, surtout pour la production de plants améliorés de certaines espèces telles que le caroubier, le pin pignon ou le chêne liège.

Elle sera d'une grande utilité pour la valorisation des carouberaies, des pinèdes (pin pignon) et, pourquoi pas, des oleastraies qui représentent des millions d'arbres prêts à être greffés et à devenir productifs en Afrique du Nord; il y a là un manque à gagner très important pour ces pays nord-africains. Ainsi, le greffage d'oléastres en 1965 sur une superficie de 25 ha dans la région de Boujad (province de Khouribga, Maroc) est un très bon exemple à suivre. En effet, la production en 1996 était de l'ordre de 6 tonnes d'olives. La valorisation de ces espèces constitue donc un enjeu économique important associé à une portée sociale considérable.

La promotion du greffage de ces espèces grâce à l'octroi de primes aux agriculteurs aurait certainement pour effet d'activer la mise en valeur de ces peuplements naturels, de contribuer pour une large part à créer de l'emploi et à générer des revenus, surtout pour les populations rurales situées dans des zones arides et semi-arides où ces essences prospèrent. Des efforts ont d'ores et déjà été réalisés durant ces dernières années, particulièrement au Maroc (région Tadla Azilal); les résultats en sont fort encourageants.

Une amélioration urgente et de première importance consiste à choisir judicieusement pour chaque région des porte-greffes ainsi que des variétés susceptibles de s'adapter aux diverses adversités biotiques et abiotiques dont les changements climatiques et de fournir des rendements satisfaisants en produits de qualité. Par exemple, le greffage du pin pignon sur le pin d'Alep, espèce particulièrement rustique, est très utilisé au Portugal, en Espagne et en Tunisie. Pour optimiser durablement l'utilisation des ressources disponibles en forêt, il convient donc de vulgariser des techniques simples de greffage et de faciliter l'obtention de plants greffés.

Ainsi, dans le cas des projets axés sur la domestication, la valorisation et l'intensification de la production des espèces à usages multiples et de haute valeur ajoutée (caroubier, pistachier, olivier, etc.), il s'avère nécessaire de recourir à la sélection génétique et au greffage. Afin de maintenir une bonne diversité génétique, les greffons doivent provenir des meilleurs clones non apparentés.

2.2 Bouturage

Le bouturage des essences forestières et agroforestières demeure la deuxième technique de multiplication la plus utilisée à l'échelle mondiale, après celle des semences. L'organe le plus utilisé lors du bouturage des essences forestières et agroforestières est généralement le rameau (ou tige) au lieu des racines et des feuilles, et ce, selon différentes variantes (bouturage ligneux, semi-ligneux et herbacé des rameaux ou des tiges). Toutefois, le nombre de plants produits par bouturage par chaque pays développé ou en émergence reste relativement faible par rapport à la quantité de plants produits par semences.

L'enracinement des boutures et le taux de réussite du bouturage varie selon l'âge du pied-mère, le génotype, le degré de contrôle des variables environnementales (température, humidité relative, déficit de pression de vapeur, intensité de lumière, etc.) et l'itinéraire technique (propriétés physico-chimiques du substrat, irrigation, fertilisation, acclimatation, transfert, etc.). Le problème majeur de la multiplication par bouturage des arbres âgés est le vieillissement des plants, qui se traduit généralement par une baisse de la rhizogenèse, une croissance faible et une plagiotropie des plants racinés (maturation). Le pépiniériste doit disposer de pieds-mères jeunes, car l'enracinement des boutures diminue significativement au fur et à mesure que le pied-mère ou l'arbre donneur acquiert de la maturité. À cet égard, en l'absence de pieds-mères jeunes, les boutures peuvent être prélevées à partir de rejets de souches jeunes.

D'une manière générale, l'enracinement des boutures de certaines essences feuillues (peuplier, eucalyptus, etc.) demande moins de soins et reste facile à réussir, par comparaison avec les boutures des essences résineuses (*Picea*, mélèze, pin radiata, pins, etc.).

Selon l'état d'avancement et les objectifs du programme d'amélioration génétique pour une essence donnée, il existe deux grandes stratégies de bouturage : le bouturage de masse et le bouturage clonal. Le matériel végétal propagé par boutures peut avoir trois origines : la sélection individuelle

d'arbres remarquables âgés (10 ans et plus); la sélection individuelle d'arbres plus jeunes au sein de bonnes familles (2 à 3 ans); la multiplication de masse de jeunes semis très performants.

Le but de la sélection individuelle d'arbres âgés est double : d'abord créer une variété polyclonale après avoir résolu les problèmes de maturation, pour ensuite constituer des vergers à graines de clones d'élite.

L'intérêt majeur de ces deux types de bouturage est la production de plants qui se distinguent par leur qualité génétique supérieure, par comparaison avec les plants issus des vergers à graines. Cette supériorité est conférée par l'origine génétique des semences élites, qui produisent des pieds-mères où les boutures sont récoltées. Ces semences peuvent être d'origines très variées : (croisements contrôlés, semis provenant de très bons géniteurs, semis d'hybrides inter-provenances, etc.).

Chaque pied-mère (génotype = variété = clone) est multiplié selon le nombre de boutures qui, après enracinement, vont donner naissance à leur tour à des plants dont le génotype sera identique au pied-mère de départ.

Ainsi, dans le cas du bouturage de masse, il n'y a aucune traçabilité de l'origine génétique des plants. Ces derniers sont mélangés et forment des variétés multifamiliales regroupant plusieurs familles ou croisements préalablement sélectionnés.

La stratégie de création de variétés « familles de pleins-frères » est le meilleur compromis entre la voie clonale et la voie « vergers à graines », car elle permet d'améliorer significativement le gain génétique. Par contre, dans le cas de la foresterie clonale, l'identité du clone est préservée tout au long des différentes phases de bouturage, soit du pied-mère (semence et tissu embryogène) jusqu'à la plantation. De plus, seuls les clones dont la performance est connue grâce à une évaluation dans différents sites devraient être intégrés dans la filière de la foresterie clonale.

2.3 Embryogenèse somatique

L'embryogenèse somatique (ES) est une technique de multiplication végétative clonale ou variétale, qui permet la production rapide et illimitée d'arbres génétiquement identiques à partir d'une seule graine sans recourir à la fécondation ou à la transformation génétique. Cette technologie est réservée à la multiplication de variétés hautement productives en quantité et en qualité.

L'atout majeur de l'ES est la conservation de la juvénilité à long terme grâce à la cryoconservation des tissus embryogènes des variétés dans l'azote liquide (-196°C), et ce, jusqu'à ce que leur performance soit déterminée en site de reboisement.

Les meilleurs clones somatiques permettent d'augmenter le rendement de 40 à 60 % par rapport à la forêt naturelle, ainsi que la qualité du bois (moins de grosses branches, densité élevée du bois, etc.). Cette approche de diversification et d'optimisation des produits à l'échelle de l'arbre contribue à rehausser la chaîne de valeur de la filière bois. Elle permet également de réduire les superficies consacrées à la production ligneuse et les coûts de transport, de diminuer la pression sur les forêts naturelles et de contribuer à la conservation de la biodiversité.

Pour diminuer les risques et assurer une diversité génétique, différents modèles prévoient que l'utilisation de 18 à 40 clones (foresterie et agroforesterie multi-clonale ou multivariétale), de préférence non apparentés, permet de réduire leur vulnérabilité vis-à-vis des stress environnementaux biotiques et abiotiques et d'optimiser le rendement (volume du bois, qualité du bois : uniformité, densité, moins de nœuds, etc.). Ces modèles indiquent également que le déploiement des clones devra se faire sous forme de blocs (mélange de plusieurs clones par bloc), au lieu de recourir à une mosaïque de blocs (chaque bloc contient un type de clone sélectionné et de qualité génétique supérieure). Ces règles de déploiement devraient être appliquées à toutes les populations de clones, quelle que soit leur origine (bouturage, organogenèse, embryogenèse somatique, etc.).

Ainsi, le recours à la stratégie multivariétale selon la voie de l'embryogenèse somatique permettra notamment :

- i) de diminuer la variabilité naturelle perçue comme un handicap majeur de la filière bois, par exemple, la variabilité des caractéristiques technologiques du bois (nœuds, lots homogènes pour optimiser le séchage, densité, etc.), ainsi que les coûts de traitements sylvicoles (exemple : variétés moins branchues et ayant des branches de faible diamètre nécessitant moins d'élagage);
- ii) d'augmenter le rendement (bois, fruits, etc.), l'uniformité, la qualité (bois, fruits, etc.) et la valeur génétique des plantations forestières et agroforestières tout en maintenant la diversité génétique;

- iii) de contribuer à la conservation et l'utilisation durables de la diversité génétique (police d'assurance contre l'incertitude et la vulnérabilité à long terme aux stress biotiques et abiotiques); et
- iv) d'optimiser l'intensification de la production et la chaîne de valeur des filières forestière et agroforestière.

Dans le cas du bouturage, le vieillissement rapide des pieds-mères limite la possibilité de multiplication de chaque individu, tandis que l'ES assure la reproduction de masse rapide et infinie d'un même clone, dont la juvénilité est préservée presque à l'infini grâce à la cryoconservation des tissus embryogènes dans l'azote liquide. Cette technique permet la conservation du matériel dans un minimum d'espace et sa reproduction en grande quantité dès que les tests clonaux auront permis de déterminer le matériel le plus performant selon des critères de sélection et des variables préétablies. La cryoconservation est également essentielle à la conservation des ressources génétiques. Les clones sélectionnés pourront par la suite être multipliés afin de produire des plants pour le reboisement ou être intégrés dans la filière de bouturage.

Seuls les clones ayant montré une bonne performance en pépinière et en site de reboisement et qui répondent à certains critères d'intérêt selon les objectifs du programme clonal pourront être intégrés dans la filière de bouturage (croissance en hauteur et en diamètre, moins de nœuds, moins de branches, branches courtes et de faible diamètre, densité du bois, résistance aux stress, bon rendement en fruits, production fourragère, biomasse foliaire, produits cosmétiques et pharmaceutiques, rendement en huile en quantité et en qualité, bon rendement lors des phases d'ES, etc.).

L'intégration des clones somatiques dans la filière de bouturage nécessite également une connaissance approfondie des caractéristiques morpho-physiologiques de chaque clone, plus particulièrement chez les essences qui se distinguent par une variabilité clonale très prononcée. La majorité des variables de croissance (hauteur, diamètre, etc.) et de bouturage (enracinement, etc.) sont sous contrôle génétique. Ainsi, en plus des variables de croissance en pépinière et en site de reboisement, différents critères de sélection des clones somatiques comme pieds-mères peuvent être utilisés pour optimiser leur intégration dans la filière de bouturage, notamment :

- La performance du clone tout au long des différentes phases d'ES (comportement et viabi-

lité en cryogénie, régénération du tissu embryogène après cryogénie, nombre et qualité d'embryons produits et germés par unité de masse du tissu embryogène, nombre de plants somatiques réellement produits par unité de masse du tissu embryogène, etc.);

- Le nombre de boutures (5 à 7 cm de longueur) produites par pied-mère de chaque clone. Il s'avère indispensable d'éliminer les clones qui se distinguent par une production accrue de boutures, soit une architecture très branchue et buissonnante de la partie aérienne (branches latérales très denses). Cependant, ce genre de clone pourra être dédié à d'autres fins qui nécessitent une bonne production de biomasse foliaire (huiles essentielles, production de métabolites, produits cosmétiques et pharmaceutiques, etc.). La validation du critère pourrait également se faire après 4 à 8 ans de croissance en site de reboisement dans les tests clonaux en évaluant le degré de branchaison (nombre, longueur : longues ou courtes, angle de branchaison, diamètre, etc.);
- La détermination à l'avance du nombre maximal de boutures à prélever et à ne pas dépasser par pied-mère de chaque clone. Ce critère s'avère nécessaire pour permettre de garder la même proportion de plants produits par clone et éviter de déséquilibrer la population de clones;
- Le taux d'enracinement des boutures;
- La stabilité des paramètres de croissance, de l'architecture et de la performance du clone somatique.

Pour faciliter la gestion des boutures lors des différentes phases de croissance en pépinière (irrigation, fertilisation, etc.), plus particulièrement pour les essences qui se distinguent par une variabilité très prononcée, il serait souhaitable de regrouper les boutures selon, par exemple, la croissance initiale en hauteur des pieds-mères des différents clones. Ceci évitera, par exemple, la présence d'une hétérogénéité de la croissance en hauteur des boutures lorsqu'elles sont mélangées, plus particulièrement dans le cas de la production de masse de boutures.

En tenant compte de la longévité des arbres et afin d'accélérer les progrès liés à la sélection et au déploiement des clones somatiques, la caractérisation et la sélection précoce à un jeune âge offrent des avantages indéniables. La sélection précoce permet notamment l'intégration rapide

des clones performants dans la population de production de même que la réduction significative du nombre de clones à évaluer dans les tests clonaux et des coûts associés à la mise en place de ces tests. Elle contribue également à choisir les meilleurs clones destinés à la filière de bouturage. Le recours à cette approche n'aura de succès tangible que si les caractéristiques observées au stade jeune et à un âge avancé sont héréditaires génétiquement et fortement corrélées. Des travaux ont montré que les corrélations génétiques observées entre les traits morphologiques des clones somatiques en pépinière et en site de reboisement étaient fortes, ce qui laisse suggérer que le potentiel de sélection précoce existe.

En plus des traits morpho-physiologiques, la sélection génomique est développée pour différents traits liés à la croissance et à la qualité du bois. Le recours à la sélection selon des marqueurs moléculaires à partir de l'analyse directe de l'ADN, dans le cadre des programmes d'amélioration génétique peut permettre de réduire le cycle d'amélioration. Cette approche pourrait être intégrée dès les premières étapes de l'embryogenèse somatique, avant la production de plants ou l'installation de tests clonaux. Elle permettrait ainsi de raccourcir davantage le cycle de sélection et le coût associé aux programmes d'amélioration génétique. Ceci facilitera sans doute la mise en place rapide de la sélection précoce sur des bases scientifiques solides.

3. Utilisation et intégration de la multiplication végétative des arbres en Afrique du Nord et ailleurs : quelques exemples

À l'échelle mondiale, on estime que près de 692 millions de plants ont été produits en 2007 à l'aide des techniques de multiplication végétative. Les principales essences produites sont les eucalyptus (433 millions) et les pins (164 millions). Le reste est constitué de différentes essences, notamment *Cunninghamia lanceolata* (65 millions), *Cryptomeria japonica* (17 millions) et les épinettes (13 millions). Par comparaison avec les autres techniques de multiplication végétative, le bouturage est de loin la technique la plus utilisée pour la production de plants de haute valeur génétique. Par contre, l'embryogenèse somatique (ES) a commencé à être utilisée pour la sélection et la diffusion des clones somatiques. En outre, certaines approches opérationnelles au Québec (Canada) favorisent la combinaison du bouturage et de l'ES en utilisant les clones somatiques comme pieds-mères.

Le développement et l'optimisation des techniques de multiplication végétative propres à l'eucalyptus, au merisier, au teck, à l'épinette de Norvège, au pin radiata, au pin maritime, à l'épinette blanche, à l'épinette noire et au mélèze hybride a ouvert de nouvelles perspectives quant à l'utilisation et la production opérationnelles de boutures et de clones destinés aussi bien au reboisement qu'à l'avancement des programmes d'amélioration génétique (tests de familles, de clones, etc.).

En Tunisie et en Algérie, les plantations d'eucalyptus sont utilisées pour répondre à certains besoins spécifiques de ces deux pays en matière de production, de protection et de récréation. La Tunisie a également mis l'accent sur la valorisation des zones humides et salées en utilisant des clones des essences à croissance rapide (eucalyptus et peuplier). D'autres projets communautaires ont pour objectif le développement de l'apiculture en ayant recours aux différentes espèces d'eucalyptus.

En Afrique du Nord, le Maroc reste le seul pays à avoir élaboré un programme d'amélioration génétique bien structuré, qui est axé sur la sélection clonale des eucalyptus et l'intensification des itinéraires techniques en pépinière et sylvicoles sur les sites de plantation (travail du sol, fertilisation, traitements sylvicoles, etc.). Les différentes espèces, les clones et les hybrides des eucalyptus sont utilisés dans certaines filières (pâte à papier, biomasse pour le bois de chauffage et charbon de bois, apiculture, agriculture et horticulture, construction, huiles essentielles, etc.).

Les techniques les plus utilisées pour la multiplication des essences forestières, agroforestières aromatiques et médicinales en Afrique du Nord sont le bouturage (ligneux, semi-ligneux et herbacé) (Figure 4-1) et la micropropagation *in vitro* (Figure 4-2). Cette dernière englobe plusieurs étapes : culture primaire d'explants désinfectés dans des milieux de culture, obtention de cultures en phase de multiplication exponentielle et multiplication par hyper-ramification, isolement des tigelles, induction de l'enracinement, expression des racines et élongation des tigelles, sevrage sous confinement et acclimatation des plants enracinés, production de pieds-mères, etc.

Au Maroc, dès 1993, on a commencé à produire à la pépinière de Sidi Yahia (région du Gharb) en moyenne entre 2 et 2,5 millions de plantes d'eucalyptus issus de boutures prélevées sur des clones sélectionnés (Figure 4-1 b). Ainsi, 3700 clones sélectionnés, issus d'arbres adultes âgés de 6 à 42 ans, repérés dans les arboretums et les



Figure 4-1. a) Production de pieds-mères d'eucalyptus par culture *in vitro*. Remarquez la variabilité clonale entre les pieds-mères; b) boutures d'eucalyptus à la pépinière de Sidi Amira (Rabat, Maroc); c) plantation clonale d'*Eucalyptus grandis* (région du Gharb, Maroc).

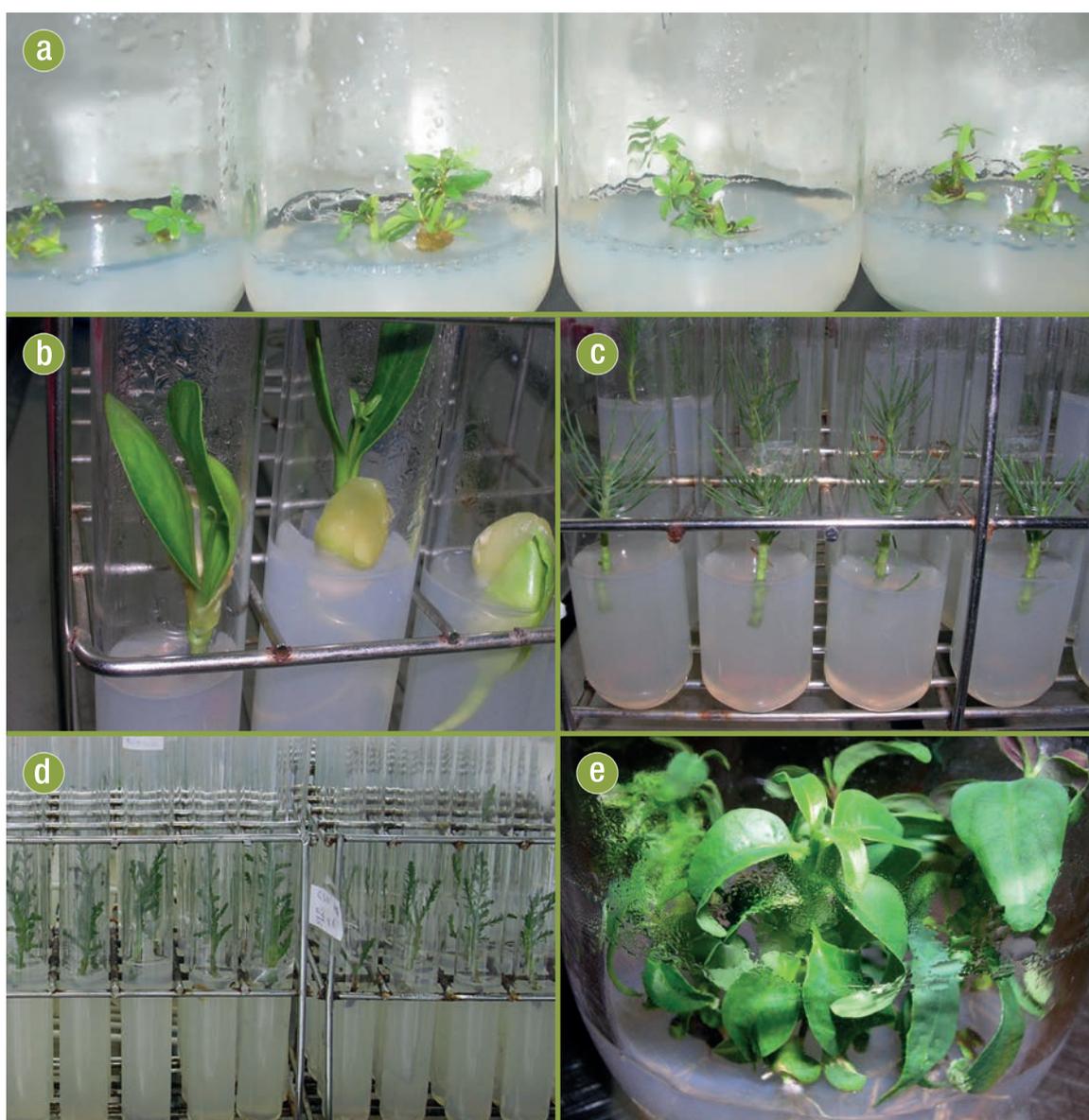


Figure 4-2. Multiplication par culture *in vitro* de quelques essences forestières et agroforestières. a-b) arganier (Photos : Dr. Iraqi Driss, Maroc et Dre. Hamrouni Lamia, Tunisie); c) pin pignon; d) cyprès; e) *Eucalyptus urophylla* (photos: Dre. Hamrouni Lamia, Tunisie).

périmètres de reboisement ou créés sur place par croisements interspécifiques (2065 plants juvéniles provenant de 193 descendances vigoureuses) ont été mobilisés dans un parc à clones ou parc à pieds-mères (Figure 4-1a). Puis ils ont été multipliés et évalués dans 369 ha de tests clonaux, pour ensuite être installés dans différentes zones bioclimatiques. Ces tests ont permis la sélection de 15 clones performants adaptés aux zones bioclimatiques semi-arides, subhumides et humides et destinés à une ligniculture intensive de haute productivité.

Plus de 30 000 ha de plantations industrielles d'eucalyptus amélioré génétiquement sont localisées principalement dans la région du Gharb, les deux espèces majoritaires étant *E. camaldulensis* et *E. grandis* (Figure 4-1c). Des gains importants ont été enregistrés en matière d'accroissements en volume de clones, passant en moyenne de 6 à 12 m³/ha/an, en comparaison avec le semis traditionnel d'*E. camaldulensis*.

Les reboisements à but énergétique de même que les plantations à rotation courte d'espèces soigneusement sélectionnées et d'hybrides conduits en taillis pour la production de biomasse-énergie connaissent actuellement un engouement sans précédent et constituent une très bonne approche de rechange visant la production d'énergie renouvelable et la lutte contre les changements climatiques. Dans ce contexte, les plantations d'*Eucalyptus sp.* et d'*Acacia mollissima*, dans la zone Nord-Ouest du Maroc, peuvent être exploitées au bout de quatre ans avec d'excellents rendements en biomasse.

Cependant, les niveaux élevés de production, qui font tout l'intérêt de ces clones ou variétés, ne peuvent être atteints qu'à condition de réserver à ces derniers des sites de bonne fertilité et d'exercer une véritable sylviculture adaptée aux essences à croissance rapide. Cette culture intensive représente donc une possibilité très remarquable de disposer rapidement d'un volume important de produits aux usages multiples, afin de diminuer le déficit de l'équilibre commercial des produits ligneux.

En raison de la concurrence très forte, de la baisse de la demande pour certains types de pâte à papier et de la fermeture de l'usine à pâte à papier ces dernières années, ce programme de sélection clonale des eucalyptus au Maroc vient d'être mis en veilleuse pour le moment.

Au Maroc, la culture *in vitro* du palmier dattier entamée depuis 1980 a permis la multiplication des cinq meilleurs clones par le biais de différentes

techniques de multiplication végétative. Le transfert de ces résultats à l'échelle commerciale jusqu'en 2014 a permis la mise en terre de plus de 758 000 vitroplants appartenant aux différents clones et aux différentes variétés, soit une superficie actuelle plantée de 30 320 ha. En vue d'atteindre la superficie de 48 000 ha prévue à l'horizon 2020, le programme de densification 2015-2020 prévoit la plantation de 73 700 plants/an, soit un total de 442 000 vitroplants. L'utilisation récente des bioréacteurs basés sur le milieu liquide a donné des résultats très prometteurs pour la multiplication de bourgeons et l'automatisation de cette opération. Ces techniques de culture *in vitro* sont également utilisées à l'échelle opérationnelle dans le cadre des programmes très rentables de la production des variétés arboricoles (olivier, agrumes, etc.).

À Pointe-Noire (Congo), l'usage des meilleurs clones permet un gain de 200 % sur la production de bois en volume et de 400 % sur la production de pâte à papier.

Au Brésil, les plantations clonales d'eucalyptus sont de 20 à 30 % plus productives. La productivité est de l'ordre de 30 à 50 m³/ha/an. Certains boisements de clones hybrides sélectionnés d'*Eucalyptus grandis x saligna* pourraient dépasser 60 m³/ha/an, avec une rotation de 6 à 7 ans. En 2007, plus de 6,6 millions d'hectares ont été reboisés (0,8 % de la superficie du pays), dont 4,29 millions d'hectares d'eucalyptus et 1,85 millions d'hectares de pins.

Entre 2004 et 2008, les plantations d'eucalyptus ont augmenté de 33,1 %, soit 1,1 millions d'hectares. La production annuelle de plants issus de bouturage est de l'ordre de 700 millions. En termes de caractéristiques du bois, les gains sont également très élevés. Le gain de production de pâte est de 135 %. La sélection clonale a permis de gagner 50 kg de pâte pour chaque mètre cube de bois produit, ce qui est énorme. En 2009, le Brésil se classait troisième au monde parmi les producteurs de pâte à papier, après les États-Unis et le Canada. Les eucalyptus et les pins représentent respectivement 74 % et 26 % de cette production. La production de pâte au Brésil a été marquée par une augmentation constante de l'ordre de 76,5 % entre 1998 et 2007, soit une augmentation moyenne de 6,5 % par an.

Au Chili, les plantations commerciales sont passées de 300 000 hectares en 1970 à 2,1 millions d'hectares en 2004 ; *Pinus radiata*, à lui seul, représentait 73 % de la superficie et l'eucalyptus, 19 %.

Au Nicaragua, en 2007, une équipe de recherche réussissait le transfert industriel de l'embryogenèse somatique en produisant un million de vitroplants de variétés hybrides de caféiers Arabica.

Au Québec (Canada), en 2007, la production totale de boutures résineuses pour quatre essences forestières [épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), épinette de Norvège (*Picea abies* (L.) Korst.) et mélèze hybride (*Larix marschlinsii* Coaz.)] atteignait 5,15 millions de plants livrables. Le programme de

bouturage des résineux a commencé en 1989 en utilisant le système « Bouturathèque » unique au monde. Ce système a été largement utilisé pour la production de boutures d'épinette noire jusqu'en 1998, pour ensuite être délaissé et remplacé par un nouveau système nommé « Doubles enceintes extérieures ». Durant les dernières années, ce système a subi de nouvelles modifications tout en conservant les tunnels dotés de deux toiles blanches séparées par de l'air (Figure 4-3). Selon les essences, les boutures utilisées sont turgescentes ou dormantes.



Figure 4-3. Exemple du système de bouturage de l'épinette blanche à l'échelle opérationnelle au Québec (pépinière Grandes-Piles, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, Canada). a) enceintes ou tunnels de bouturage (83 m x 7 m) munis de deux toiles de polyéthylène blanc (épaisseur : 4 mil; 50 % d'extinction de lumière) séparées par un vide aéré de façon continue à l'aide d'une injection d'air; b) conduite pour injecter l'air entre les deux toiles; c) boutures dormantes d'épinette blanche récoltées en automne et conservées pendant l'hiver dans des chambres réfrigérées (-2°C à -4°C); d-e) insertion et enracinement des boutures dans les cavités (200 cavités/récipient, 20 cm³); f) enceinte de bouturage d'épinette blanche qui peut contenir jusqu'à 626 000 boutures.

Des scénarios et des régies de culture adaptés aux exigences de chaque espèce ont été mis au point (culture des pieds-mères, conditions d'enracinement et de repiquage pour la production de plants de fortes dimensions, fertilisation, irrigation, bouturage semi-lignifié et dormant, traitement de jours courts, etc). Les pieds-mères sont produits à partir de semences améliorées génétiquement qui sont issues de familles biparentales. Ces pieds-mères sont produits pendant deux ans pour le bouturage dormant. Actuellement, l'accent est mis sur l'intégration progressive de l'embryogenèse somatique dans la filière opérationnelle de bouturage, l'élaboration de nouveaux scénarios de produc-

tion et la caractérisation morpho-physiologique des pieds-mères somatiques. Cette dernière porte notamment sur l'évaluation du nombre de boutures ou clones somatiques, du taux d'enracinement, de la croissance, de l'architecture des parties aériennes et de la performance en site de reboisement. L'évaluation porte également sur la performance des clones lors des différentes phases d'ES (induction, maturation, germination, taux de conversion, etc.).

Cette approche visant à recourir aux pieds-mères jeunes a été adaptée et utilisée avec succès à l'échelle opérationnelle, dans le cas du bouturage herbacé et semi-ligneux de l'arganier (Figure 4-4).



Figure 4-4. Exemple de production intensive de production de pieds-mères d'arganier au Québec (Canada). a) culture de pieds-mères dans des bacs; b) enracinement des boutures dans des conteneurs (volumétrie réduite des cavités); c) transplantation des boutures dans des conteneurs (volume élevé des cavités); d) excellent développement des racines des boutures.

La Nouvelle-Zélande compte actuellement 1,4 millions d'hectares de terres classées comme forêts commerciales, soit 5 % de la superficie du pays constituée exclusivement de plantations forestières. De plus, la superficie consacrée aux plantations forestières augmente depuis cinq ans à un rythme moyen annuel de 55 000 ha. L'essentiel de l'expansion récente se fait aux dépens d'activités agricoles plus traditionnelles comme l'élevage des ovins et elle est assurée principalement par des petits propriétaires forestiers, des agriculteurs et des investisseurs.

Depuis les années 1980, la Nouvelle-Zélande a mis l'accent sur des programmes d'amélioration génétique de grande envergure, tout en accordant une place de choix au bouturage de masse de *Pinus radiata* qui se comporte très bien lors des différentes étapes de bouturage.

En Europe, la productivité (*E. globulus*) varie entre 10 et 25 m³/ha/an, la rotation étant de 12 ans. Les plantations de cette essence couvrent 700 000 ha au Portugal et 500 000 ha en Espagne, dont environ 100 000 ha sont des plantations clonales. La production de plants issus de boutures est d'environ 10 millions de plants/an et les plantations clonales sont de 15 à 25 % plus productives. Enfin, environ 2500 ha sont plantés annuellement avec *Picea sitchensis* en Irlande et en Écosse.

En France, des résultats probants ont été obtenus avec le merisier, le chêne rouge d'Amérique et le pin maritime, mais leur passage à l'opérationnel reste timide.

En Allemagne, les travaux les plus importants sur le bouturage ont mis l'accent sur l'épicéa commun. Contrairement aux travaux sur les eucalyptus, on ne prend pas, comme point de départ, des arbres adultes qui sont phénotypiquement supérieurs. Étant donné que l'épicéa, comme la plupart des conifères, ne rejette pas de souches, les boutures prises sur des sujets âgés reprennent beaucoup plus difficilement et présentent le plus souvent des déficiences physiologiques marquées. On se sert initialement de jeunes plants qu'on multiplie par bouturage et dont on conserve en permanence des copies végétatives juvéniles en pépinière. Ce programme devrait aboutir à 2000 clones en 24 ans, à partir d'un matériel initial de 63 millions de plants (soit un taux final de sélection de 0,003 %).

Des millions de plants bouturés ont ainsi été produits et mis en place. La supériorité moyenne des meilleurs clones est de l'ordre de 40 % en volume, par rapport à la moyenne des plants classiques issus de semis.

4. La modernisation de la filière des pépinières forestières : une stratégie de développement incontournable pour assurer la production de plants de haute qualité morpho-physiologique et la réussite des reboisements

Malgré le fait que les premiers travaux de plantation en Afrique du Nord remontent à 1870, les premiers jalons des programmes ambitieux de reboisement n'ont débuté qu'en 1960 dans le cadre des plans triennaux ou quinquennaux de développement. En plus du problème lié au substrat, aux techniques culturales et aux sécheresses prolongées, la qualité morpho-physiologique des plants figure parmi les principales causes des échecs de reboisement. L'utilisation de plants de qualité diminuera non seulement les pertes d'argent occasionnées par les regarnis, mais réduira également le délai de récolte du bois.

Dans l'état actuel, la majorité des pépinières font face à des contraintes de gestion et utilisent des installations et des techniques de production peu évoluées (sachet, nature du substrat, niveau d'électrification, qualité de l'eau, systèmes d'irrigation, structure d'ombrage, absence d'enca-drement et de normes). Ces contraintes ont des effets négatifs sur la croissance et la rentabilité des reboisements. Pour rattraper le retard accumulé en matière de reboisement en mettant l'accent sur l'amélioration de la qualité morpho-physiologique, du taux de survie et de la croissance des plants, le Maroc et l'Algérie pourraient s'inspirer de l'expérience tunisienne en matière de modernisation des pépinières. À l'inverse, la Tunisie et l'Algérie pourraient utiliser les résultats des travaux réalisés au Maroc sur l'amélioration génétique des eucalyptus et la modernisation du secteur des semences forestières. En dépit des efforts de modernisation des pépinières forestières (ombrière, conteneur, etc.) réalisés par l'Algérie et le Maroc, la Tunisie a opté pour la modernisation complète de la filière des pépinières forestières grâce à l'introduction de nouvelles technologies de production de plants forestiers axées sur l'utilisation des ombrières rétractables et des conteneurs, la valorisation et le

compostage des branches des essences forestières à croissance rapide pour produire des substrats standards, la mycorhization des plants, la gestion informatique et la mise au point de techniques

et de régies de culture adaptées aux essences forestières. L'utilisation de ces nouvelles technologies de production de plants dans plusieurs pépinières (Figure 4-5), unique en Afrique du Nord,

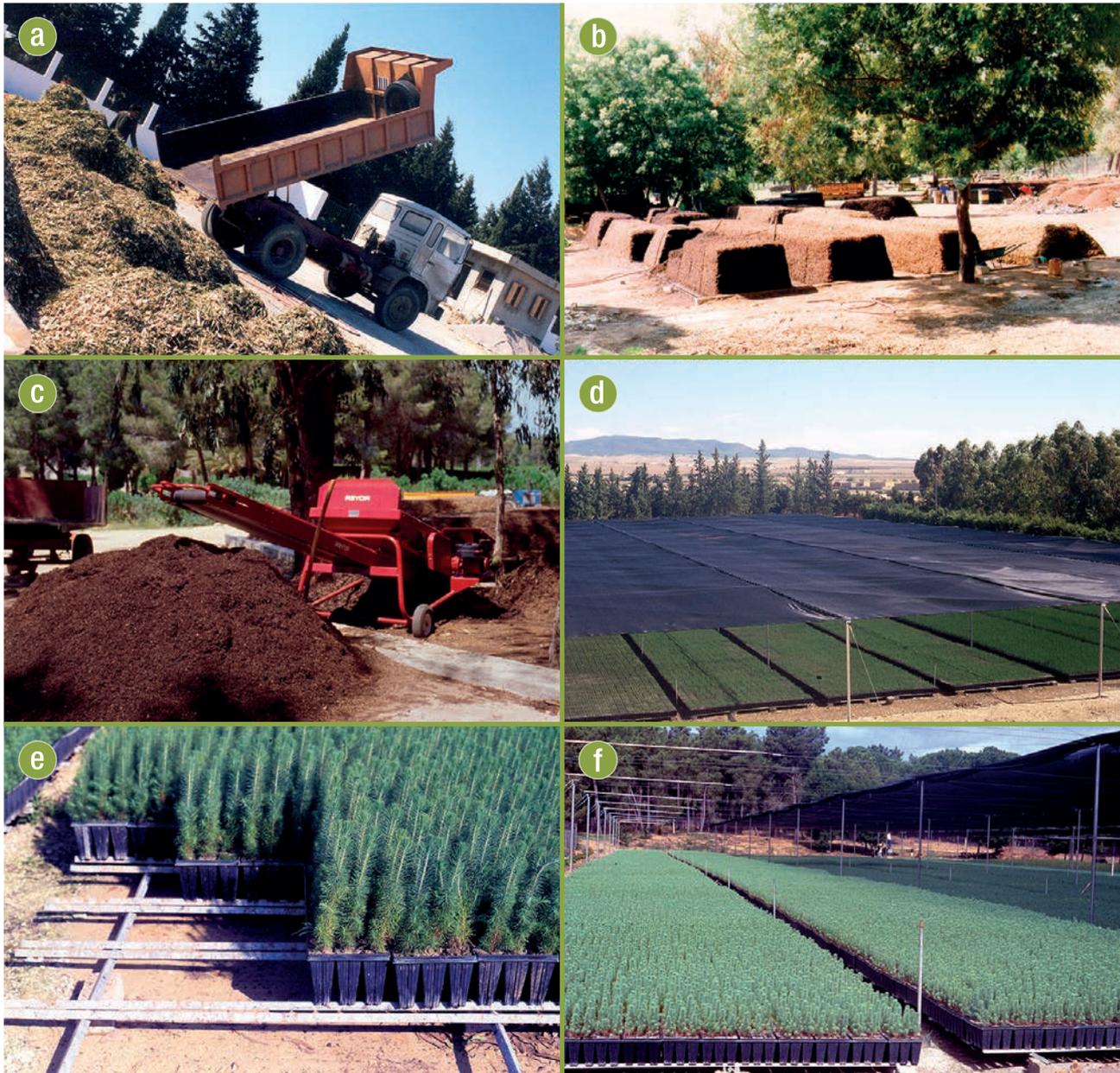


Figure 4-5. Exemple de modernisation complète d'une pépinière forestière en Tunisie. a) broyat des branches d'*Acacia cyanophylla* prêt à être composté; b) aire de compostage et andins de compost à base d'*A. cyanophylla*; c) tamisage du compost après avoir atteint sa maturité, et ce après quatre mois de compostage; d) vue générale d'une pépinière dotée d'ombrières rétractables; e) système de surélévation des plants produits en conteneurs; f) gestion distincte des aires de culture selon les stades de croissance des plants. Dans cet exemple, lorsque les plants du pin pignon ont atteint les critères de croissance ciblés, l'ombrière a été enlevée afin qu'ils soient préconditionnés à la sécheresse avant leur mise en terre dans les sites de reboisement.

est simple et adaptée aux conditions régionales. Elle a ainsi permis l'obtention de résultats très satisfaisants quant à la qualité des plants, associés à des coûts de production très concurrentiels par comparaison avec celui des techniques conventionnelles. En outre, la production des plants de haute qualité morpho-physiologique et le suivi en

site de reboisement pendant trois années consécutives ont révélé une grande amélioration du taux de survie et de la croissance des plants de toutes les essences produites (pin pignon, pin d'Alep, eucalyptus, casuarina, acacia, chêne liège, etc.) (Figure 4-6). Cette première expérience réussie fait



Figure 4-6. Production de plants de haute qualité morpho-physiologique et amélioration du taux de survie et de la croissance en site de reboisement. a) plant de pin d'Alep produit en conteneur dans une pépinière moderne en Tunisie; b) plant du pin pignon mycorhizé avec le champignon ectomycorhizien Rhizopogon; c) plants d'arganier produits en conteneur; d) amélioration de la croissance et du taux de survie des plants (à gauche: plants de pin pignon produits dans une pépinière moderne; à droite : plants de pin pignon produits dans une pépinière traditionnelle).

de la Tunisie une pionnière en matière de transfert de technologie et de savoir-faire concernant la modernisation du secteur des pépinières forestières. L'état actuel de la croissance et du comportement des principales essences forestières dans les pépinières modernes a montré l'intérêt de ces technologies et les possibilités de leur généralisation dans des pays ayant des problèmes similaires à ceux de la Tunisie.

Afin d'assurer un encadrement adéquat des pépiniéristes, tout en tenant compte des percées technologiques dans le domaine de la modernisation des pépinières, la création d'une équipe d'assistance technique gouvernementale s'avère nécessaire. Cette équipe aura pour mandat d'adapter et vulgariser les techniques modernes de production, de faire le suivi des cultures, ainsi que de contrôler et mettre à jour les normes de qualité. Cette équipe de soutien devra bénéficier d'un plan de formation, qui tiendra compte des différents aspects de la culture des plants.

Pour tirer parti des efforts réalisés en matière d'amélioration génétique et de choix des variétés, des familles ou des sources de semences issues de vergers, il s'avère nécessaire de mettre en terre des plants de haute qualité morpho-physiologique capables de survivre, de croître et de résister à la sévérité des différents stress environnementaux afin de faire face aux changements climatiques. Étant donné que le domaine de production des plants (semences, bouturage, greffage, culture *in vitro*) et de conservation des ressources génétiques forestières nécessite la production des plants de haute qualité morpho-physiologique capables de survivre aux différentes interactions multiples des stress environnementaux en site de reboisement, il s'avère nécessaire de continuer la mise en application des recommandations suivantes :

i) Sur le plan de la modernisation des pépinières

- Favoriser nécessairement l'émergence de pépinières régionales et poursuivre l'effort de modernisation en vue de produire des plants forestiers et agroforestiers de haute qualité génétique et morpho-physiologique;
- S'orienter vers des marchés pluriannuels pour inciter davantage l'entreprise à investir dans le secteur de la production des plants forestiers (sécurisation de l'investissement);
- Revoir la certification des entreprises sur la base de critères de compétence dans le domaine de la production des plants;

- Renforcer l'encadrement technique des exploitants de pépinières pour les sensibiliser à la conservation et aux techniques de multiplication des RGF.

ii) Sur le plan de la recherche et du développement

- Constituer un groupe d'intérêt sur la recherche dans le domaine de la production des plants forestiers, constitué de gestionnaires, de chercheurs et d'entrepreneurs spécialisés;
- Poursuivre les travaux sur les itinéraires techniques d'élevage de plants (conteneur, substrat, fertilisation, irrigation, etc.);
- Évaluer les travaux de recherche sur le comportement des plants sur le terrain (conditions de site de plantation) avant leur mise en œuvre;
- Intégrer les résultats de recherche dans les programmes de production des plants et de reboisement et les appliquer;
- Prendre en considération le coût dans les travaux de recherche sur les techniques de production de plants;
- Considérer les thèmes prioritaires en matière de recherche comme suit :
 - Optimisation et intégration des techniques de multiplication végétative dans la filière de production des plants et de conservation des RGF;
 - Optimisation et normalisation de la production de composts pour l'élevage de plants forestiers, dans le but d'éliminer complètement l'usage du terreau forestier (mesure environnementale);
 - Recherche sur le potentiel de production de biomasse pour le compostage et l'amélioration de ce potentiel par des cultures (reboisement) destinées à la production de biomasse;
 - Mise au point de substrats organiques favorables à l'élevage des plants (propriétés physico-chimiques);
 - Définition des standards de culture : substrat, arrosage, fertilisation, ensoleillement, préconditionnement, protection phytosanitaire, etc.;
 - Amélioration génétique appropriée et choix de génotypes adaptés aux conditions des sites de plantation;

- Caractérisation du matériel végétal par des marqueurs génétiques et cartographie des provenances;
 - Définition des normes de qualité pour différentes espèces produites en pépinières;
 - Poursuite des travaux sur la physiologie des graines forestières (maturation, conservation, dormance, germination, etc.).
- iii) Sur le plan de la formation et des manifestations scientifiques
- Intensifier la formation continue auprès des pépiniéristes et spécialiser des ingénieurs et techniciens dans le domaine de la production des plants forestiers et la conservation des RGF;
 - Multiplier les rencontres sur le thème de la production des plants forestiers et la conservation des RGF, au moins une fois par an;
 - Diffuser les résultats de recherche, notamment sous forme de fiches techniques, pour les besoins de vulgarisation et d'utilisation des plants et des RGF.

5. La multiplication végétative : un atout indéniable pour la conservation des ressources génétiques face aux changements climatiques

Compte tenu de la rapidité des changements globaux, la conservation de la diversité des ressources génétiques est devenue un enjeu crucial pour l'avenir des forêts, car cette diversité est indispensable à la stabilité, à la résilience et à l'adaptabilité des écosystèmes. Ce n'est généralement pas à l'échelle de l'espèce que les menaces se situent pour les arbres, mais plutôt à celle des populations. D'ailleurs, certaines populations d'arbres sont localement menacées de disparition.

En plus des changements climatiques, la diversité génétique est menacée par l'action anthropique des populations riveraines (forêt habitée), les ravageurs et les maladies, les feux de forêts, l'utilisation des terres et les changements du couvert forestier selon le degré de la fragmentation des habitats, l'introduction d'espèces exotiques et les possibilités d'hybridation avec les populations naturelles. En outre, les modalités de gestion, d'aménagement et de sylviculture des forêts ont jusqu'à présent peu considéré le maintien de la diversité génétique.

Selon les derniers rapports nationaux sur la conservation des ressources génétiques forestières (RGF), chaque pays de l'Afrique du Nord a mis en exergue les politiques et les stratégies adoptées et à mettre en œuvre pour assurer une gestion durable des RGF. Les différents pays ont déployé les efforts nécessaires en combinant les méthodes de conservation *ex situ* et *in situ*, qui englobent différentes approches (aires protégées, parcs nationaux, vergers à graines, peuplements semenciers, arboretums, jardins botaniques, conservation des semences, banque de gènes et germoplasme : pollen, semences et autres, etc.). Dans le cas de la conservation *in situ*, il s'agit d'une conservation dynamique des RGF qui favorise la recombinaison génétique par la reproduction sexuée, tout en laissant la sélection naturelle s'exercer sous les différentes contraintes du milieu. Les deux méthodes de conservation des ressources génétiques doivent être utilisées de façon complémentaire, tout en tenant compte de la nature biologique de l'espèce, de la faisabilité technique, des infrastructures, du degré de qualification de la main-d'œuvre, de la sécurité et de la rentabilité de l'approche retenue, notamment dans le cas des techniques de multiplication végétative.

Ainsi, le maintien des RGF a pour objectif la conservation de la diversité génétique et, plus particulièrement, celle des variétés sélectionnées qui se distinguent par leur haute valeur forestière, agroforestière et économique.

La multiplication végétative constitue un outil intéressant et varié (greffage, bouturage de tiges et de racines, organogenèse et embryogenèse somatique). Elle est nécessaire tant en ce qui concerne la mobilisation du matériel que la gestion ultérieure des collections. Elle est particulièrement efficace pour la conservation *ex situ* statique des RGF. La mobilisation est l'obtention de la première génération de copies génétiques indépendantes et autonomes, induisant généralement une réactivation physiologique du matériel mobilisé.

L'utilisation des techniques de culture *in vitro* contribuera à conserver i) les ressources génétiques d'espèces à semences récalcitrantes et multipliées végétativement; ii) les variétés sélectionnées issues de la filière de biotechnologie (clones élites, variétés productrices de métabolites, etc.); iii) les espèces rares et menacées. Les principales approches de conservation des ressources génétiques englobent la collecte *in vitro*, la conservation en croissance ralentie et la cryconservation.

La conservation des RGF sous forme d'individus sous serre ou dans des collections regroupées mis en terre ne permet pas d'assurer une préservation sécurisée à long terme. Cette approche nécessite plus d'espace et d'entretien et est associée à un coût relativement élevé. Sous de telles conditions, la conservation des RGF est soumise aux variations climatiques et aux maladies.

La conservation *in vitro* du matériel végétal dans des conditions de croissance ralentie nécessite un repiquage régulier. Cette méthode devrait être réalisée par une main-d'œuvre qualifiée, car elle peut également engendrer des contaminations du matériel végétal. À l'inverse, la cryoconservation dans l'azote liquide (-198°C) pourra être considérée comme étant la meilleure méthode de conservation à long terme des cultures à multiplication végétative, car elle est sûre et elle nécessite un minimum d'espace et d'entretien. En outre, la cryoconservation pourra être considérée comme une méthode complémentaire à la conservation *in vitro*. Elle pourrait d'ailleurs servir comme collection de secours en cas de perte, de contamination, d'erreur humaine ou de variation somaclonale.

La capture des ressources difficilement mobilisables par voie sexuée, soit en raison de caractéristiques propres à l'espèce (rareté des fructifications, mauvaise germination des graines, etc.), soit en raison de particularités liées aux individus concernés ou à leur environnement (arbres isolés ou trop âgés, climat défavorable, génotypes stériles, etc.) est un autre avantage de la multiplication végétative.

Toutefois, l'usage de la multiplication végétative n'est pas forcément limité à la conservation statique *ex situ*. Elle peut en effet être utilisée comme technique d'appoint pour renforcer les effectifs d'une petite population que l'on souhaite conserver *in situ*, mais dont il importe de renouveler d'urgence les sujets trop âgés ou dépérissant pour fleurir et fructifier. La multiplication végétative peut aussi, dans les cas les plus critiques, permettre de créer un peuplement composite nouveau, soit dans des conditions de milieu semblables à celles du biotope originel (plantation conservatoire), soit dans des conditions artificialisées (verger de clones, verger à hybridation, etc.).

Pour les espèces difficiles à conserver *in situ*, notamment les espèces menacées ou disséminées (noyer, caroubier), l'approche *ex situ* est nécessaire.

C'est ainsi que des collections nationales *ex situ* statiques de peupliers noir et blanc ont été constituées au Maroc à partir de boutures prélevées sur plusieurs centaines d'arbres échantillonnés dans diverses régions et multipliés dans les pépinières expérimentales.

Pour certaines espèces menacées ou en voie d'extinction en Afrique du Nord, on peut opter pour la migration assistée (déplacement d'espèces assisté par l'homme en réaction aux changements climatiques) dans leur aire naturelle ou vers des endroits en dehors de leur aire de répartition naturelle actuelle. Ce déplacement peut se faire en altitude et en latitude.

Les techniques de multiplication végétative ne doivent pas être perçues comme des outils de remplacement des approches conventionnelles de conservation *ex situ*, mais comme des approches supplémentaires permettant d'assurer une sécurité accrue en matière de conservation des ressources génétiques.

Références bibliographiques

- Abourouh, M., M.S. Lamhamedi et J.A. Fortin, 1995. *Techniques de mycorhization en pépinières des plants forestiers*. Centre National de Recherche Forestière. Maroc. 37 p.
- Aggarwal, D., A. Kumar, J. Sharma et M. Sudhakara Reddy, 2012. *Factors affecting micropropagation and acclimatization of an elite clone of Eucalyptus tereticornis Sm. In Vitro Cell. Dev. Biol.—Plant* 48 : 521-529.
- Ahuja, M.R (Ed.). 1993. *Micropropagation of woody plants*. Kluwer Academic Publishers, Pays-Bas. 507 p.
- Ahuja, M.R. et W.J. Libby (Eds.), 1993. *Clonal Forestry, Vol. 1. Genetics and Biotechnology*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 277 p.
- Ahuja, M.R. et W.J. Libby (Eds.), 1993. *Clonal Forestry, Vol. II. Conservation and application*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 240 p.
- Alazard, P., 1987. *Multiplication végétative et sélection clonale chez le Pin maritime*. Annales AFOCEL, 1987. p. 125-159.
- Alazard, P., 1992. *Aspects techniques et économiques de la multiplication de masse chez le pin maritime*. Synthèse du symposium IUFRO. Bordeaux, 1992. p. 80-91.
- Alazard, P. et A. Kadio, 1984. *Croissance juvénile des boutures de Pin maritime*. Annales AFOCEL. p. 119-151.
- Al-Khayri, J.M., 2007. *Date palm Phoenix dactylifera L. micropropagation. Dans Protocols for micropropagation of woody trees and fruits*. Éditeurs : S.M. Jain et H. Haggman, Springer, Pays-Bas, p. 509–526.
- Alouani, M., 2003. *La régénération de l'arganier Argania spinosa (L.) Skeels : protocole de production de plants par semis et par bouturage et réussite de la transplantation*. Thèse de Doctorat en Sciences, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir. 168 p.
- Altman, A. et B. Loberant, (1998). *Micropropagation: Clonal Plant Propagation in vitro. Dans Agricultural Biotechnology Inc*. Éditeurs : A. Altman et M. Dekker. New York, USA. p. 19-42.
- Amerson, H.V. et R.L. Mott, 1982. *Improved rooting of western white Pine (Pinus monticola) shoots from tissue cultures*. For. Sci. 28 : 822-825.
- Ammari, Y., N. Akrimi et M.S. Lamhamedi, 2001. *Évaluation du compost d'Acacia cyanophylla et des écorces de pins en relation avec le développement des plants en pépinière et en site de reboisement*. Séminaire international sur la mise au point de nouvelles techniques de production de plants forestiers en vue d'une reconstitution du couvert forestier en Tunisie. Centre de formation professionnelle dans le secteur forestier de Rimel – Bizerte. 18 octobre 2001. Tunisie.
- Ammari, Y., M.S. Lamhamedi, N. Akrimi et A. Zine El Abidine, 2003. *Compostage de la biomasse forestière et son utilisation comme substrat de croissance pour la production de plants en pépinières forestières modernes*. Revue de l'I.N.A.T. 18 (2) : 99-119.
- Ammari, Y., N. Akrimi, M.S. Lamhamedi et A. Zine El Abidine, 2005. *Influence des substrats d'élevage sur la survie et la croissance de jeunes plants de résineux en site de reboisement*. Annales de l'INRGREF, Numéro Spécial 7 : 217-228. ISSN 1737-0515.
- Ammari, Y., M.S. Lamhamedi, N. Akrimi et A. Zine El Abidine, 2006. *Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost*. Geo-Eco-Trop. 30 (1) : 11-24.
- Ammari, Y., M.S. Lamhamedi, N. Akrimi et A. Zine El Abidine, 2006. *Influence de divers substrats à base de compost sur le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire de plants de pin pignon*. Annales de l'INRGREF, Numéro spécial, 9 (2) :148-171. ISSN 1737-0515.
- Ammari, Y., M.S. Lamhamedi, A. Zine El Abidine et N. Akrimi, 2007. *Production et croissance des plants résineux dans différents substrats à base de compost dans une pépinière forestière moderne en Tunisie*. Revue forestière française. 4 : 339-358.
- Andrade, G.M. et SA. Merkle, 2005. *Enhancement of American chestnut somatic seedling production*. Plant Cell Rep. 24 : 326-334.
- Andreoli, C., J. Ponchet et E. Mari, 1996. *Effets du porte-greffe sur la réaction du cyprès à la maladie du chancre corticole à Seiridium cardinale*. Agronomie 16 : 563-571.

- Anjarne, M., M. Bougerfaoui et L. Abahmane, 2005. *Techniques de multiplication in vitro du palmier dattier : Principe et Acquis de recherche*. Dans Actes du Symposium International sur le Développement Durable des Systèmes Oasiens. 8 au 10 mars 2005, Erfoud, Maroc. Éditeurs : B. Boulanouar et C. Kradi. p. 550-553.
- Arbez, M., 1987. *Les ressources génétiques forestières en France, Tome 1 : les conifères*. Dans Ouvrage collectif préparé sous la direction de Michel Arbez, Éditeur : INRA et BRG, Paris. 236 p.
- Arbez, M. et J.F. Lacaze., 1999. *Les ressources génétiques forestières en France, Tome 2 : les feuillus*. Dans Ouvrage collectif préparé sous la direction de Michel Arbez, Éditeur : INRA et Quae, Paris. 408 p.
- Azeqour, M., M. Amssa et M. Baaziz, 2002. *Identification de la variabilité intra-clonale des vitro-plants de palmier dattier issus de culture in vitro par organogénèse. Étude morphologique*. Comptes Rendus Biologie, 325 : 947-956.
- Bachelar, E.P. et B.B. Stowe, 1963. *Rooting of cuttings of Acer rubrum L and Eucalyptus camaldulensis Dehn*. Aust. J. Biol. Sci. 16 : 751-767.
- Bajaj, Y.P.S., 1986. *Biotechnology of tree improvement for rapid propagation and biomass energy production*. Dans Biotechnology in Agriculture and Forestry. Trees 1. Éditeur : Y.P.S. Bajaj, Springer-Verlag, Berlin. p. 1-23.
- Bakry, M., G. Bussièrès, M.S. Lamhamedi, H.A. Margolis, D.C. Stowe, M. Abourouh, M. Blais et J.A. Bérubé, 2009. *A first diagnosis of Pestalotiopsis clavispora in Argan mass cutting propagation: Prevalence, prevention and consequences for plant production*. Phytoprotection 90 : 117-120.
- Bakry, M., M.S. Lamhamedi, H. Margolis, J. Caron, A. Zine El Abidine, D. Stowe et M. Bellaka, 2012. *Are composts from shredded leafy branches of fast-growing forest species suitable as nursery growing media in arid regions?* New Forests 43 : 267-286.
- Bakry, M., M.S. Lamhamedi, J. Caron, P.Y. Bernier, H.A. Margolis, A. Zine El Abidine et D.C. Stowe, 2013. *Changes in the physical properties of two Acacia compost-based growing media and their effects on growth and physiological variables of containerized carob (Ceratonia siliqua L.) seedlings*. New Forests. 44 : 827-847.
- Ball, E.A., 1953. *Hydrolysis of sucrose by autoclaving media, a neglected aspect in the technique of culture of plant tissues*. Bulletin of the Torrey Botanical Club. 80 : 409-411.
- Balsemin, É. et É. Collin, 2004. *Conservation in situ des ressources génétiques des arbres forestiers en France métropolitaine*. Ingénieries 40 : 51-60.
- Baltunis, B.S., D.A. Huber, T.L. White, B. Goldfarb et H.E. Stelzer, 2007. *Genetic analysis of early field growth of loblolly pine clones and seedlings from the same full-sib families*. Can. J. For. Res. 37 : 195-205.
- Baradat, P.H. et J.C. Laforet, 1972. *Essais comparatifs de greffage de brachyblastes (aiguilles) et d'auxiblastes (pousses) chez le pin maritime*. Annales AFOCEL. p. 331- 349.
- Batcheller, O.A.J., 1973. *New concepts in budding and grafting Eucalyptus*. Internat. Plant Propagators Soc. Combined Proc. 23 : 195-200.
- Beaulieu, J., A. Deshaies, G. Daoust, A. Rainville, M. Tourigny, J. Bousquet, M.S. Lamhamedi et J. MacKay, 2009. *Amélioration génétique des arbres, gestion des vergers à graines et de semences, et production de plants forestiers*. Dans Ordre des Ingénieurs Forestiers du Québec, Manuel de foresterie, 2^e édition. Ouvrage Collectif, Éditions Multimondes, Québec, p. 1093-1146.
- Béjaoui, Z., A. Albouchi, M.S. Lamhamedi et M.H. El Aouni, 2008. *Effet d'un assèchement édaphique sur la croissance, l'allocation de biomasse et les relations hydriques chez Casuarina glauca Sieb*. Botanique. 86 : 1242-1251.
- Béjaoui, Z., A. Albouchi, M. Abassi, M.S. Lamhamedi et M.H. El Aouni, 2008. *Réponses adaptatives de trois clones de peuplier euraméricain à tolérance croissante à l'hydromorphie*. Annales de l'INRGREF (numéro spécial) 12 : 686-708.
- Béjaoui, Z., A. Albouchi, M.S. Lamhamedi, M. Abassi, et M.H. El Aouni, 2012. *Adaptation and morpho-physiology of three Populus deltoides Marsh. x P. nigra L. clones after preconditioning to prolonged waterlogging*. Agroforestry systems 86 : 433-442.
- Bekkaoui, F., 1983. *Microbouturage in vitro du Sequoia sempervirens (Endl.); étude de la rhizogénèse considérée comme critère de juvénilité chez deux clones d'âges différents*. D.E.A., Université Pierre et Marie Curie (Paris VI). 43 p.

- Bellefontaine, R., 2010. *De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier* (*Argania spinosa* L. Skeels). *Sécheresse* 21 (1) : 42-53.
- Bellefontaine, R., A. Ferradous, M. Alifriqui et O. Monteuis, 2010. *Multiplification végétative de l'arganier*, *Argania spinosa*, au Maroc : le projet John Goelet. *Bois et forêts des tropiques* 304 (2) : 47-59.
- Bellefontaine, R., A. Ferradous, M. Alifriqui, O. Fikari et S. El Mercht, 2011. *Mobilisation de vieux arganiers par bouturage sous nébulisation artificielle*. Dans Actes du premier congrès international de l'arganier, 15-17 décembre, Agadir. p.145-154.
- Benmahioul, B., N. Dorion, M. Kaid-Harche et F. Daguin, 2012. *Micropropagation and ex vitro rooting of pistachio* (*Pistacia vera* L.). *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 108 (2) : 353-358.
- Bentouati, A. et M. Bariteau, 2006. *Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès* (Algérie). *Forêt méditerranéenne* (4) : 317-322.
- Bentzer, B.G., G.S. Foster, A.R. Hellberg et A.C. Podzorski, 1989. *Trends in genetic and environmental parameters, genetic correlations, and response to indirect selection for 10 year volume in a Norway spruce clonal experiment*. *Can. J. For. Res.* 19 : 897-903.
- Bergeron, O., M.S. Lamhamedi, H.A. Margolis, P.Y. Bernier et D.C. Stowe, 2004. *Irrigation control and physiological responses of nursery-grown black spruce seedlings (1+0) cultivated in air-slit containers*. *Hort. Sci.* 39 : 599-605.
- Bernier, P.Y., M.S. Lamhamedi et D.G. Simpson, 1995. *Shoot: root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock*. *Tree Planters' Notes.* 43 : 102-106.
- Blethon, J., 1984. *Étude de la greffe des résineux*. *Forêt privée* 159 : 95-105.
- Bonga, J.M., 1982. *Vegetative propagation in relation to juvenility, maturity and rejuvenation*. Dans *Tissue culture in forestry*. Éditeurs : J.M. Bonga et D.J. Durzan, Martinus Nijhoff, Dordrecht. p. 387-412.
- Bonga, J.M., 2015. *A comparative evaluation of the application of somatic embryogenesis, rooting of cuttings, and organogenesis of conifers*. *Can. J. For. Res.* 45 : 379-383.
- Bouderrah, M. 2014. *Production in-vitro de pieds-mères réactifs pour le bouturage de clones supérieurs d'Eucalyptus au Maroc*. Document interne. Eaux & Forêts, Sidi Amira, Maroc. 27p.
- Bougacha, A., 1992. *Initiation aux nouvelles biotechnologies et en particulier la culture in vitro. Application au Chêne-liège* (*Quercus suber* L.) et au *Pin d'Alep* (*Pinus halepensis* Mill.). Mémoire 3^e cycle de l'E.N.F.I., Salé, Maroc, préparé au laboratoire du CNRF. 95 p.
- Boulay, M., 1976. *Recherches sur la prolifération du douglas par culture in vitro*. *Annales AFOCEL.* p. 84-145.
- Boulay, M., 1977. *Multiplification rapide du Sequoia sempervirens en culture in vitro*. *Annales AFOCEL.* p. 37-67.
- Boulay, M., 1984. *Aspects pratiques de la multiplication in vitro des essences forestières*. *Ann. Rech. Sylvic., AFOCEL.* p. 7-43.
- Bouvarel, P., 1960. *Les vieux pins laricio greffés de la forêt de Fontainebleau*. *Silvae Genetica* 9 : 41-44.
- Boxus, P., 1983. *La culture de ligneux in vitro au service du phytopathologiste*. *Bull. Soc. Bot. Fr.* 130 : 53-59.
- Boxus, P., 1989. *La multiplication in vitro, une biotechnologie intéressante pour le développement : ses perspectives industrielles*. *Ann. Gembloux,* 95 : 163-181.
- Boyer-Groulx, D., M.S. Lamhamedi et H.A. Margolis, 2011. *L'enrichissement en CO₂ est-il envisageable pour améliorer la croissance des plants forestiers dans les pépinières forestières du Québec ?* Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi, (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 71-74.
- Boyer-Groulx, D., S. Carles, M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, D.C. Stowe, H.A. Margolis, A. Rainville, P.Y. Bernier et J. Bousquet, 2011. *Réponses morpho-physiologiques des familles d'épinette blanche aux changements climatiques*. Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi, (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 107-112.
- Bozzano, M., R. Jalonen, E. Thomas, D. Boshier, L. Gallo, S. Cavers, S. Bordács, P. Smith et J. Loo, (eds.), 2014. *Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species*. *State of the World's Forest Genetic Resources – Thematic Study*. Rome, FAO and Bioversity International. 282 p.

- Brhadda, N., L.D.M. Walali et A. Abousalim, 2007. *Étude histologique de l'embryogenèse somatique de l'olivier (Olea europaea L.) cv. Picholine marocaine*. Fruits, 62 (2) : 115-124.
- Brhadda, N., L.D.M. Walali et A. Abousalim, 2008. *Effet du sucre sur l'embryogenèse somatique de l'olivier (Olea europaea L.) cv. Picholine marocaine*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12 (3) : 245-250.
- Carles, S., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, F. Colas, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2007. *Génétique et architecture des racines des plants d'épinette blanche produits en pépinière forestière*. Dans Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances. Carrefour de la recherche forestière. 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. p. 19-23.
- Carles, S.; M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, F. Colas, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2009. *Genetic Variation in Seed Size and Germination Patterns and their Effect on White Spruce Seedling Characteristics*. Silvae Genetica 58 (4) : 145-204.
- Carles, S., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2011. *Differences in growth and mineral nutrition of seedlings produced from ten white spruce seed orchards*. New Forests. 42 : 195-214.
- Carles, S., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2011. *Existe-t-il des différences entre les vergers à graines d'épinette blanche quant à leurs effets sur la croissance racinaire des plants (2+0) en pépinière forestière?* Dans Colas, F., Lamhamedi, M. S. (eds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 113-118.
- Carles, S., M.S. Lamhamedi, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2012. *An operational method for estimating cold tolerance thresholds of white spruce seedlings in forest nurseries*. Forestry Chronicle 88 (4) : 448-457.
- Carles, S., M.S. Lamhamedi, D.C. Stowe, P.Y. Bernier, L. Veilleux et H.A. Margolis, 2012. *Relationships between frost hardiness, root growth potential and photosynthesis of nursery-grown white spruce seedlings*. Ann. For. Sci. 68 : 1303-1313.
- Carles, S., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, D.C. Stowe et H.A. Margolis, 2012. *Genetic parameters of morphological and physiological characteristics of containerized white spruce (Picea glauca [Moench.] Voss) seedlings*. Tree Genetics & Genomes 8 : 39-51.
- Carneros, E., C. Celestino, K. Klimaszewska, Y.S. Park, M. Toribio et J.M. Bonga, 2009. *Plant regeneration in Stone pine (Pinus pinea L.) by somatic embryogenesis*. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 98 : 165-178.
- Carrasquinho De Freitas, M.I., 2002. *Propagação vegetativa de sobreiros seleccionados*. Silva Lusitana, 10 (1) : 17-52.
- Carson, M.J. et S.D. Carson, 2009. *Clonal forestry of radiata pine. Lessons for Europe*. Dans Vegetative Propagation & Deployment of Varieties – The Scope for Europe. 22 avril 2009, Liverpool, Royaume-Uni.
- Cauvin, B. et J.N. Marien, 1978. *La multiplication végétative des Eucalyptus en France*. Annales AFOCEL . p. 141-175.
- Celestino, C., B. Fernandez-Guijarro, I. Hernandez, D. Lopez-Vela, E. Cameros, J. Jimenez, L. Cardo, J. Alegre et M. Toribio, 2009. *Growth data from a field trial of Quercus suber plants regenerated from mature selected trees and from their half-sib progenies by somatic embryogenesis*. Acta Hort. 812 : 493-498.
- Çengel, B., Y. Tayanç, G. Kandemir, E. Velioglu, M. Alan et Z. Kaya, 2012. *Magnitude and efficiency of genetic diversity captured from seed stands of Pinus nigra (Arnold) subsp. Pallasiana in established seed orchards and plantations*. New Forests. 43 : 303-317.
- Chalupa, V. (1987). *European hardwoods*. Dans Cell and Tissue Culture in Forestry vol 3. Éditeurs : J. M. Bonga, D. J. Durzan et N. Martinus, Dordrecht, Boston, Lancaster. p. 224-246.
- Chaperon, H., 1979. *Nouvelles perspectives d'amélioration génétique induites par le bouturage du Pin maritime*. Annales AFOCEL. p. 31-51.
- Chaperon, H. et G. Quillet, 1977. *Résultats des travaux sur le bouturage des Eucalyptus au Congo*. Dans FAO Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, Australie. p. 835-856.
- Chaperon, H., P.H. Haury et B. Cauvin, 1991. *Utilisation d'une enceinte climatique pour la sélection des pins au froid artificiel: application au Pin hybride attenuata x radiata*. Annales AFOCEL. p. 43-70.
- Cheliak, W.M. et D.L. Rogers, 1990. *Integrating biotechnology into tree improvement programs*. Can. J. For. Res. 20 : 452-463.

- Colas, F. et M.S. Lamhamedi, 2010. *Floraison précoce et production de graines par des clones somatiques d'épinette noire (Picea mariana) : intégration potentielle dans le programme d'amélioration génétique et l'aménagement des vergers à graines*. Revue canadienne de recherche forestière 40 (7) : 1421-1433.
- Colas, F. et M.S. Lamhamedi (eds.). 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire*. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). 140 p.
- Colas, F. et M.S. Lamhamedi, 2011. *Vers l'utilisation potentielle de variétés somatiques d'épinette noire dans les vergers à graines pour augmenter la productivité forestière*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière no. 26. 2 p.
- Collectif, 1993. *Clonal forestry I Genetics and biotechnology*. Dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby (Eds). Springer-Verlag. 277 p.
- Collectif, 1993. *Clonal forestry II Conservation and application*. Dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby (Eds). Springer-Verlag. 240 p.
- Collectif, 2004. *Forest biotechnology in latin America*. Dans Proceedings from the workshop biotecnologia forestal. Kellison, R., S. McCord et K.M.A. Gartland (Eds). 2-5 mars 2004, Concepción, Chili. 38 p.
- Collin, E., 2000. *La multiplication végétative au service de la conservation des ressources génétiques végétales : l'exemple des ormes*. Dans Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux; seconde rencontre du Groupe de la Sainte-Catherine. Éditeur : M. Verger, Astredhor, Paris. p. 131-139.
- Cornu, D. et M. Verger, 1992. *La multiplication végétative de feuillus précieux et de clones fournissant des bois figurés*. Rev. For. Fr. XLIV, no. sp. p. 55-60.
- Cornu, D., J.L. Riffaud et P. Capelli, 1981. *In vitro propagation of Wild cherry tree (Prunus avium L.)*. Colloque IUFRO-AFOCEL, Fontainebleau. p. 133-134.
- Courbet, F., M. Lagacherie, P. Marty, J. Ladier, C. Ripert, P. Riou-Nivert, F. Huard, L. Amandier et É. Paillassa, 2012. *Le cèdre en France face au changement climatique : bilan et recommandations*. RMT AFORCE, République Française. 32 p.
- Couvet D., F. Austerlitz, S. Brachet, N. Frascaria-Lacoste, B. Jung-Muller, A. Kremer et R. Streiff, 1999. *Flux géniques chez les arbres forestiers : synthèse bibliographique*. Document CRGF, Paris. 67 p.
- Crahay, C., J. Wevers, F. Munaut, J.V. Colpaert et S. Declerck, 2013. *Cryopreservation of ectomycorrhizal fungi has minor effects on root colonization of Pinus sylvestris plantlets and their subsequent nutrient uptake capacity*. Mycorrhiza 23 : 463-471.
- Cremiere, L., H. Sbay et D. Prat, 1987. *In vitro culture of Alnus species*. Acta Hort., 212 : 543-546.
- Cresswell, R.J. et C. Nitsch, 1975. *Organ culture in Eucalyptus grandis L.* Planta (Berl), 125 : 87-90.
- CRGF, 2008. *Préserver et utiliser la diversité des ressources génétiques forestières pour renforcer la capacité d'adaptation des forêts aux changements climatiques*. MAAPRAT, Paris. 4 p.
- Crow, D.W., T. Osawa, K.M. Platz et D.S. Sutherland, 1976. *Root inhibitors in Eucalyptus grandis. Synthesis of inhibitors and origin of peroxide linkage*. Aust. J. Chem. 29 : 2525-2531.
- David, A., 1979. *Manifestation de diverses potentialités organogènes et micropropagation végétative chez le pin maritime*. Annales AFOCEL. p. 57-75.
- Davidson, J., 1974. *Grafting Eucalyptus deglupta*. N. Z. J. For. Sci. 4 : 204-210.
- Davidson, J., 1977. *Problems of vegetative propagation of Eucalyptus*. FAO Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, Australie. p. 857-882.
- Davis, T.D., B.E. Haissing et N. Sankhla, 1988. *Adventitious root formation in cuttings*. Dioscorides Press, Hong Kong. 315 p.
- Davis, T.D. et B.E. Haissing, 1993. *Biology of adventitious root formation*. Plenum Press, Michigan. 343 p.
- De Fossard, R.A., 1974. *Tissue culture of Eucalyptus*. Aust. For., 37 : 43-54.
- Deng, M.D. et D. Cornu, 1992. *Maturation and germination of walnut somatic embryos*. Plant Cell, Tiss. Organ Cult. 28 (2) : 195-202.

- Depommier, D., 1981. *Micropropagation d'Eucalyptus résistant au froid. Influence de quelques facteurs sur l'allongement et l'enracinement des plantules*. Colloque IUFRO-AFOCEL, Fontainebleau. p. 127-132.
- Dias, M.C., C. Correia, J. Moutinho-Pereira, H. Oliveira et C. Santos, 2014. *Study of the effects of foliar application of ABA during acclimatization*. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 117 : 213-224.
- Díaz-Barradas, M.C., M. Zunzunegui, F. Ain-Lhout, J. Jáuregui, S. Boutaleb, L. Álvarez-Cansino et M.P. Esquivias, 2010. *Seasonal physiological responses of Argania spinosa tree from Mediterranean to semi-arid climate*. Plant Soil, 337 : 217-231.
- Doorenbos, J., 1965. *Juvenile and adult phases in woody plants*. *Encycl. Plant. Physiol.* XVII : 1222-1235.
- Dowlatabadi, R., A.M. Weljie, T.A. Thorpe, E.C. Yeung et H.J. Vogel, 2009. *Metabolic footprinting study of white spruce somatic embryogenesis using NMR spectroscopy*. Plant Physiol. Biochem. 47 : 343-350.
- Druart, P., P. Boxus, O. Liard et B. Delaite, 1983. *La micropropagation du merisier à partir de la culture de méristèmes. Dans Colloque international sur la culture in vitro des essences forestières. Proceedings of a IUFRO meeting, Fontainebleau, 31 août au 4 septembre 1981, Nangis, France. AFOCEL. p. 101-108.*
- Dumroese, R.K, T.D. Landis et T. Luna, 2012. *Chapter 4. Growing plants from cuttings. Dans Raising native plants in nurseries: basic concepts. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-274. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 52-58.*
- Durzan, D.J. et P.K. Gupta, 1987. *Somatic embryogenesis and polyembryogenesis in Douglas-fir cell suspension cultures*. Plant science. 52 (3) : 229-235.
- El Kbiach, M.L., A. Lamarti et A. Badoc, 2001. *Culture in vitro du chêne-liège (Quercus suber L.)*. Bull. Soc. Pharm. 140 : 89-110.
- El Kbiach, M.L., A. Lamarti, A. Abdali et A. Badoc, 2002. *Culture in vitro des bourgeons axillaires de chêne-liège (Quercus suber L.). I – Influence des cytokinines sur l'organogenèse et la callogenèse de nœuds de plantules*. Bull. Soc. Pharm. 141 : 73-88.
- El Kbiach, M.L., A. Lamarti, A. Abdali et A. Badoc, 2002. *Culture in vitro des bourgeons axillaires de chêne-liège (Quercus suber L.). III – Influence de différents hydrates de carbone*. Bull. Soc. Pharm. 141 : 105-116.
- El Kbiach, M.L., A. Lamarti, A. Abdali et A. Badoc, 2004. *Micropropagation du chêne-liège (Quercus suber L.) par culture d'apex issus d'axes embryonnaires*. Acta Bot. Gallica 151 (4) : 401-413.
- El Kbiach, M.L., A. Lamarti, A. Abdali et A. Badoc, 2004. *Micropropagation du chêne-liège (Quercus suber L.) par bourgeonnement axillaire*. Acta Bot. Gallica 151 (4) : 415-427.
- El Maâtaoui, M. et H. Espagnac, 1987. *Néoformation de structures de type embryon somatique sur des cultures de Chêne liège (Quercus suber L.)*. Comptes rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, série III, no. 304 : 83-88.
- El Maâtaoui, M. et H. Espagnac, 1989. *Comportement in vitro d'embryons zygotiques de chêne liège (Quercus suber L.) excisés à divers stades de leur développement*. Ann. Sci. For. 46 (suppl.) : 145s-148s.
- FAO, 2014. *Situation des forêts du monde. Mieux tirer parti des avantages socioéconomiques des forêts*. Organisation des Nations Unies, Rome. 146 p.
- FAO, 2014. *Perspectives mondiales de la diversité biologique. Évaluation à mi-parcours des progrès accomplis dans la mise en œuvre du Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020*. Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Montréal. 157 p.
- FAO, 2013. *État des forêts méditerranéennes*. Rome. 189 p.
- Favre, J.M., 1980. *Rhizogenèse et bouturage*. Dans La multiplication végétative des plantes supérieures. *Éditeurs* : R. Chaussat, et C. Bigot, Gauthier-Villars. p. 51-75.
- Féraud-Keller, C., M. El Maâtaoui, O. Guoin et H. Espagnac, 1989. *Embryogenèse somatique chez trois espèces de chênes méditerranéens*. Ann. For. Sci. 46 : 130s-132s.
- Fielding, J.M., 1968. *Trees grown from cuttings compared with trees grown from seed (Pinus radiata D. don)*. Silvae Genetica 19 : 54-63.

- Fki, L., R. Masmoudi, W. Kriaâ, A. Mahjoub, B. Sghaier, R. Mzid, A. Mliki, A. Rival et N. Drira, 2011. *Date Palm Micropropagation via Somatic Embryogenesis*, Dans *Date Palm Biotechnology*, p. 47-68.
- Foster, G.S., C.C. Lambeth et M.S. Greenwood, 1987. *Growth of Loblolly pine rooted cuttings compared with seedling*. *Can. J. For. Res.* 17 : 157-164.
- Francllet, A., 1956. *Premiers travaux d'amélioration génétique des Eucalyptus*. *Ann. Rech. For.*, Rabat Maroc, 1 : 65-89.
- Francllet, A., 1967. *Une méthode de greffage du Cupressus Dupreziana sur Cupressus sempervirens*. *RFF no. 5* : 338-342.
- Francllet, A., 1976. *Recherche de conditions favorables au bouturage du pin maritime*. *Annales AFOCEL*. p. 99-126.
- Francllet, A., 1977. *Manipulation des pieds-mères et amélioration de la qualité des boutures*. *AFOCEL, Études et Recherches*, no. 8. 20 p.
- Francllet, A., 1979. *Rajeunissement des arbres adultes en vue de leur propagation végétative*. *AFOCEL- Études et Recherches*, no. 12 : 3-18.
- Francllet, A., 1980. *Rajeunissement et propagation végétative des ligneux*. *Annales AFOCEL*. p. 11-40.
- Francllet, A., 1983. *Rejuvenation theory and practical experiences*. Dans *Clonal Forestry*. 19th meeting of Canadian Tree Improvement Association. p. 96-134.
- Friborg, G., M. Pedersen, L.E. Landstrom et T. Ericksson, 1978. *The effect of activated charcoal on tissue cultures: Adsorption of metabolites inhibiting morphogenesis*. *Physiol. Plant.* 43 : 104-106.
- Gagnon, J. et M.S. Lamhamedi, 2011. *L'inoculation des plants résineux en récipients par des spores de champignons ectomycorhiziens à l'automne pourrait-elle contribuer à réduire les problèmes d'insuffisance racinaire dans les pépinières forestières du Québec ?* Dans Colas, F., Lamhamedi, M. S. (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 27-32.
- Gagnon, J. et M.S. Lamhamedi, 2011. *Les concentrations foliaires en azote recommandées au Québec pour les essences résineuses produites en récipients sont-elles adéquates?* Dans Colas, F., Lamhamedi, M. S. (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 47-51.
- Gamborg, O.L., 2002. *Plant tissue culture. Biotechnology. Milestones*. *In Vitro Cell, Dev. Biol. Plant.* 38 : 84-92.
- Gantait, S., N. Mandal, S. Bhattacharyya et P.K. Das, 2010. *An elite protocol for accelerated quality-cloning in Gerbera jamesonii Bolus cv. Sciella*. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 46: 537-548.
- Garcia-Martin, G., M.E. Gonzalez-Benito et J.A. Manzanera, 2001. *Quercus suber L. somatic embryo germination and plant conversion: pretreatments and germination conditions*. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 37 : 190-198.
- Gaspar, T.H., D. Smith et T. Thorpe, 1977. *Arguments supplémentaires en faveur d'une variation inverse du niveau auxinique endogène au cours des deux premières phases de la rhizogenèse*. *C.R. Acad. Sci., Paris*. p. 285-327.
- Gautheret, R.J., 1959. *La culture des tissus végétaux. Techniques et réalisations*. Masson, Paris. 863 p.
- Gharnit, N., et A. Ennabili, 2009. *Essais préliminaires de culture in vitro du caroubier (Ceratonia siliqua L.) originaire du nord-ouest du Maroc*. *Biomatec echo* 3 (6) : 18-25.
- Giri, C.C., B. Shyamkumar et C. Anjaneyulu, 2004. *Progress in tissue culture, genetic transformation and applications of biotechnology in trees: an overview*. *Trees* 18 : 115-135.
- Gorst, J.R. et R.D. Teasdale, 1998. *Robotic micropropagation for commercial forestry in plant Biotechnology and in vitro biology in the 21st century*. *Current Plant Science and Biotechnology in agriculture*. 36 : 633-636.
- Grattapaglia, D. et M.D.V. Resende, 2011. *Genomic selection in forest tree breeding*. *Tree Genetics & Genomes* 7: 241-255.

- Gravel-Grenier, J., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, S. Carles, H.A. Margolis, M. Rioux, D.C. Stowe et L. Lapointe, 2011. *Utilization of family genetic variability to improve the rooting ability of white spruce (Picea glauca [Moench] Voss.) cuttings*. Can. J. For. Res. 41 : 1308-1318.
- Greenwood, M.S. et C.P. Berlyn, 1973. *Sucrose indole-3-acetic acid interactions on root regeneration by Pinus lambertiana embryo cuttings*. Amer. J. Bot. 60 : 42-47.
- Grossnickle, S.C., D. Cyr et D.R. Polonenko, 1996. *Somatic embryogenesis tissue culture for the propagation of conifer seedlings: a technology comes of age*. Tree Planters' Notes 47 (2) : 48-57.
- Guedira, A., M.S. Lamhamedi, B. Satrania, M. Bouleman, M. Serrar et A. Douirad, 2012. *Valorisation des matières résiduelles et de la biomasse forestière au Maroc : 1- Compostage et confection de substrats organiques pour la production de plants forestiers de haute qualité morpho-physiologique*. Nature Technology 7 : 87-95.
- Gupta, P.K., A.F. Mascaranhas et V. Jagannathan, 1981. *Tissue culture of forest trees: Clonal propagation of mature trees of Eucalyptus citriodora Hook, by tissue culture*. Plant. Sci. Lett. 20 : 195-201.
- Gupta, P.K., A.L. Nadgir, A.F. Mascaranhas et V. Jagannathan, 1980. *Tissue culture of forest trees: Clonal multiplication of Tectonia grandis L. (Teak) by tissue culture*. Plant. Sci. Lett. 17 : 259-268.
- Hadley, M.J., J.S. Tanz et J. Fraser, 2001. *Biotechnology: potential applications in tree improvement*. Forest Genetics Council of British Columbia. 12 p.
- Haines, R.J. et M.J. Deiters, 1990. *The progression and distribution of graft incompatibility in Araucaria cunninghamii Ait. ex. D. Don*. Silvae Genetica. 39 (2) : 62-66.
- Hamann, A., T. Gylander et P.-Y. Chen, 2011. *Developing seed zones and transfert guidelines with multivariate regression trees*. Tree Genetics & Genomes 7 : 399-408.
- Harfouche, A., A. Nedjahi, M. Ellatifi et H. Daly-Hassen, 2005. *Les ressources génétiques forestières nord-africaines et leur conservation*. Rev. For. Fr. LVII (1) : 15-32.
- Hartmann, R.D et R.H. Zimmerman, 1999. *Commercial micro propagation in the United states, 1965-1998. Dans Plant Biotechnology and in vitro Biology in the 21st Century*. Éditeurs : A. Altman et al. p. 699-707.
- Hartmann, HT, D.E. Kester, F.T. Davies et R.L. Geneve, 1997. *Plant propagation: Principles and practices*. Éditeur : Prentice Hall, 6^{ème} éd., New Jersey, USA. 770 p.
- Hartney, V.J., 1980. *Vegetative propagation of the Eucalyptus*. Aust. For. Res. 10 : 191-211.
- Hazubska-Przybyl, T., P. Chmielarz, M. Michalak, M. Dering et K. Bojarczuk, 2013. *Survival and genetic stability of Picea abies embryogenic cultures after cryopreservation using a pregrowth-dehydration method*. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 113 : 303-313.
- Heller, R., 1953. *Recherches sur la nutrition minérale dans les tissus végétaux cultivés in vitro*. Ann. Sci. Nat. Bot. 14 : 1-223.
- Hernandez, I., C. Celestino, J. Alegre et M. Toribio, 2003. *Vegetative propagation of Quercus suber L. by somatic embryogenesis II. Plant regeneration from selected cork oak trees*. Plant Cell. Rep. 21 : 765-770.
- Hernandez, I., B. Cuenca, E. Carneros, N. Alonso-Blazquez, M. Ruiz, C. Celestino, L. Ocafia, J. Alegre et M. Toribio, 2011. *Application of plant regeneration of selected cork oak trees by somatic embryogenesis to implement multivarietal forestry for cork production*. Dans Nageswara-Rao M. et J.R. Soneji (eds.) Focus on tree micropropagation and tissue culture. Tree For. Sci. Biotechnol. 5 (1) : 19-26.
- Högberg, K.-A., 2003. *Possibilities and limitations of vegetative propagation in breeding and mass propagation of Norway spruce*. Doctoral thesis, Swedish university of Agricultural science, Uppsala. 39 p.
- Högberg, K.-A., I. Ekberg, L. Norell et S. von Arnold, 1998. *Integration of somatic embryogenesis in a tree breeding programme: a case study with Picea abies*. Can. J. For. Res. 28 : 1536-1545.
- Högberg, K.-A., P.V. Bozhkov, R. Gronroos et S. von Arnold, 2001. *Critical factors affecting Ex Vitro performance of somatic embryo plants of Picea abies*. Scand. J. For. Res. 16 : 295-304.
- Horgan, G.P. et F.M. Maplesden, 1995. *La commercialisation de Pinus radiata de Nouvelle-Zélande*. FAO . Unasylva No. 183 - Commerce et promotion commerciale des produits forestiers. 46 : 29-36.
- Hsina, T. et N. El Mtili, 2009. *In vitro micrografting of mature carob tree (Ceratonia siliqua L.)*. The Open Horticulture Journal 2 : 44-48.

- INRA, 2008. *Création variétale et conservation des Ressources Génétiques : point fort de la recherche agronomique*. Rapport d'activité 2008. 24 p.
- Iraqi, D., V.Q. Lee, M.S. Lamhamedi et F.M. Tremblay, 2005. *Sucrose utilization during somatic embryo development in black spruce: role of apoplastic invertase in the tissue and of extracellular invertase in the medium*. J. Plant Physiol. 162 : 115-124.
- Iraqi D., M.S. Lamhamedi et F.M. Tremblay, 2005. *Rôle et métabolisme du saccharose lors de l'embryogenèse somatique: Cas de l'épinette*. Al Awamia 113 : 61-76.
- Isik, F., B. Li, J. Frampton et B. Coldfarb, 2004. *Efficiency of seedlings and rooted cuttings for testing and selection in Pinus taeda*. Forest Science 50 : 44-53.
- Jaenicke, H., 1999. *Good tree nursery practices – practical guidelines for research nurseries*. International centre for research in agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya. 93 p.
- Jaenicke, H. et J. Beniest, 2003. *La multiplication végétative des ligneux en agroforesterie – Manuel de formation et bibliographie*. World Agroforestry Centre (ICRAF). Nairobi, Kenya. 162 p. <http://www.cgilrc.cgiar.org/icraf/multiplication.pdf>.
- Jain, S.M., 1999. *An Overview of progress on Somatic Embryogenesis in Forest trees Plant biotechnology and in vitro Biology in the 21st Century*. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture. 36 : 57-63.
- Jansson, G., D. Danusevicius, H. Grotehusman, J. Kowalczyk, D. Krajmerova, T. Skroppa et H. Wolf, 2013. Chapter 3. *Norway spruce (Picea abies (L.) H.Karst.)*. Dans *Forest tree breeding in Europe*. Éditeur : L.E. Pâques, Managing forest ecosystems 25 : 123-176.
- Kaita, A., R.A. Drew et S.E. Ashmore, 2013. *Genetic and epigenetic integrity assessment of acclimatised papaya plants regenerated directly from shoot-tips following short- and long-term cryopreservation*. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 112 : 75-86.
- Kataria, N., K. Yadav, S. Kumari, et N. Singh, 2013. *Micropropagation: An Important Tool for Conserving Forest Trees*. J. Trop. Agric. Sci. 36 (1) : 1-26.
- Kenny, L., 1998. *Application de la culture in-vitro à la multiplication des arbres et arbustes de zones arides*. Dans *Colloque international sur les ressources végétales; l'arganier et les plantes des zones arides et semi-arides*. 23-25 avril 1998, Agadir, Maroc. p. 71-75.
- Khuri, S., M.R. Shmoury, R. Baalbaki, M. Maunder et S.N. Talhouk, 2000. *Conservation of the cedrus libani populations in Lebanon: history, current status and experimental application of somatic embryogenesis*. Biodiversity and Conservation, 9 : 1261-1273.
- Kleinschmit, J., 1974. *Large-scale cutting propagation of Norway spruce*. N. Z. J. Forest Sci. 4 : 359-366.
- Klimaszewska, K., C. Noceda, G. Pelletier, P. Label, R. Rodriguez et M.A. Lelu-Walter, 2008. *Biological characterization of young and aged embryogenic cultures of Pinus pinaster (Ait.)*. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant. 45 : 20-33.
- Koivuranta, L., K. Leinonen et P. Pulkkinen, 2008. *Marketing of forest reproductive material: the use of microsatellites for identification of registered tree clones in Finland*. http://www.metla.fi/julkaisut/working_papers/. ISSN 1795-150X. 19 p.
- Kremer, A., C.-È. Durel, R. Petit et M. Villar, 1994. *Marqueurs moléculaires et génétique des arbres forestiers*. Biofutur 131 : 17-37.
- Lamhamedi, M.S., 2010. *Amélioration tangible de la croissance des racines des plants d'épinette noire par le traitement de jours courts en pépinière forestière*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière no. 24. 2 p.
- Lamhamedi, M.S., 2011. *Détermination des seuils de tolérance au gel des plants produits dans les pépinières forestières du Québec : intégration dans la prise de décision et l'optimisation des mesures de protection*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière no. 27. 2 p.
- Lamhamedi, M.S., 2011. *Variabilité spatiale et variations extrêmes des teneurs en eau du substrat en pépinière forestière : facteurs aggravants de l'insuffisance racinaire*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière no. 28. 2 p.
- Lamhamedi, M.S., 2011. *La masse des racines pourrait-elle être utilisée comme un critère de qualité avant la livraison des plants en site de reboisement ?* Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi, (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 65-69.

Lamhamedi, M.S. et P.Y. Bernier, 1994. *Ecophysiology and field performance of black spruce: a review*. Ann. Sci. For. 5 : 529-551.

Lamhamedi, M.S. et S. Carles, 2012. *Le verger à graines d'où proviennent les semences peut-il affecter la croissance des plants d'épinette blanche ?* Avis de recherche no. 39. Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 2 p.

Lamhamedi, M.S. et J.A. Fortin, 1994. *La qualité des plants forestiers : critères d'évaluation et performances dans les sites de reboisement*. Dans Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers. Ed. Abourouh, M. Centre de Recherche et d'Expérimentation Forestières, p. 35-50.

Lamhamedi, M.S. et J. Gagnon, 2003. *Nouvelles technologies de production de plants forestiers au Québec et leur intégration dans les programmes de reboisement des pays en développement*. XIII^e Congrès forestier mondial. 21 au 28 septembre, Québec. Cette publication figurait parmi les 186 mémoires sélectionnés sur un total de 1038 mémoires volontaires présentés lors du XII^e Congrès forestier mondial 2003 et a fait l'objet d'une conférence.

Lamhamedi, M.S. et J. Gravel-Grenier, 2012. *La sélection précoce des variétés somatiques hautement productives: élément clef de l'amélioration de la chaîne de valeur du bois au Québec*. Avis de recherche no. 41. Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 2 p.

Lamhamedi, M.S. et D. Tousignant, 2008. *Clonal variations in Picea abies stock plants produced by somatic embryogenesis and their use in cutting propagation programs*. Résumé d'une affiche présentée lors de l'atelier de l'ACAA sur les semences dans le cadre du Congrès conjoint IUFRO-ACAA 2008 - L'adaptation, l'amélioration et la conservation à l'ère de la génomique forestière et des changements environnementaux. 25 août 2008, Québec, Canada. p. 198.

Lamhamedi, M.S., J.A. Fortin et P.Y. Bernier, 1991. *La génétique de Pisolithus sp.: une nouvelle approche de biotechnologie forestière pour assurer une meilleure survie des plants en conditions de sécheresse*. Sécheresse 2 : 251-258.

Lamhamedi, M.S., P.Y. Bernier et J.A. Fortin, 1992. *Growth, nutrition and water stress tolerance of Pinus pinaster inoculated with ten dicaryotic strains of Pisolithus sp.* Tree Physiol. 10 : 153-167.

Lamhamedi, M.S., P.Y. Bernier et J.A. Fortin, 1992. *Hydraulic conductance and soil water potential at the soil-root interface of Pinus pinaster seedlings inoculated with different dikaryons of Pisolithus sp.* Tree Physiol. 10 : 231-244.

Lamhamedi, M.S., P.Y. Bernier, C. Hébert et R. Jobidon, 1998. *Physiological and growth responses of three types of containerized Picea mariana seedlings outplanted with and without vegetation control*. For. Ecol. Manage. 110 : 13-23.

Lamhamedi, M.S., H. Chamberland, P.Y. Bernier et F.M. Tremblay, 2000. *Clonal variation in morphology, growth, physiology, anatomy and ultrastructure of container-grown white spruce somatic seedlings*. Tree Physiol. 20 : 869-880.

Lamhamedi, M.S., Y. Ammari, B. Fecteau, J.A. Fortin et H. Margolis, 2000. *Problématique des pépinières forestières en Afrique du nord et stratégies d'orientation*. Cahiers Agricultures 9 : 369-380.

Lamhamedi, M.S., G. Lambany, H.A. Margolis, M. Renaud, L. Veilleux et P.Y. Bernier, 2001. *Growth, physiology and leachate losses in Picea glauca seedlings (1+0) grown in air-slit containers under different irrigation regimes*. Can. J. For. Res. 31 : 1968-1980.

Lamhamedi, M.S., M. Renaud, et H.A. Margolis, 2002. *La réflectométrie dans le domaine temporel : une technique d'optimisation de l'irrigation et de réduction du lessivage en pépinières forestières au Québec*. Cahiers Agricultures 11 : 275-283.

Lamhamedi, M.S., H. Chamberland et F.M. Tremblay, 2003. *Epidermal transpiration, ultrastructural characteristics and net photosynthesis of white spruce somatic seedlings in response to in vitro acclimatization*. Physiologia Plantarum : 18 : 544-561.

Lamhamedi, M.S., H.A. Margolis, M. Renaud, L. Veilleux et I. Auger, 2003. *Effets de différentes régies d'irrigation sur la croissance, la nutrition minérale et le lessivage des éléments nutritifs des semis d'épinette noire (1+0) produits en récipients à parois ajourées en pépinière forestière*. Can. J. For. Res. 33 : 279-291.

Lamhamedi, M.S., L. Veilleux et M. Renaud, 2005. *Élaboration des seuils de tolérance au gel des plants d'épinette blanche (1+0) en pépinière forestière selon les régions écologiques du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Sainte-Foy, Québec. Mémoire de recherche forestière no. 147. 50 p.

- Lamhamedi, M.S., F. Colas et D. Tousignant, 2006. *Characterization and multi-criteria selection of stockplants for the mass cutting propagation of white spruce (Picea glauca) in Québec*. Affiche et résumé présentés au IUFRO Tree Seed Symposium, Frédéricton, N.-B., 18-21 juillet 2006.
- Lamhamedi, M.S., L. Labbé, H.A. Margolis, D.C. Stowe, L. Blais et M. Renaud, 2006. *Spatial variability of substrate water content and growth of white spruce seedlings*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70 : 108-120.
- Lamhamedi, M.S., B. Fecteau, L. Godin et C. Gingras, 2006. *Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie*. 80 p., 13 annexes. Pampev Internationale, Québec, Canada. ISBN : 9973-914-08-2.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud, P. Desjardins et L. Veilleux, 2007. *Early selection and clonal variation of hybrid poplar clones in a Québec forest nursery*. Dans *Poplar culture : a collaborative effort from clone to mill*. 2007 Annual Meeting of the Poplar Council of Canada. Conference Handbook. Compiled by Pierre Périnet. Québec, Canada, 16-21 septembre 2007. p : 51-53.
- Lamhamedi, M.S., A. Zine El Abidine, M. Benzyane et S.M. El Youssfi, 2008. *Atelier et table ronde sur la production des plants forestiers au Maroc*. Recueil des conférences et des recommandations [cd-rom, ISBN : 978-2-550-53895-0], 11 mars 2008, École nationale forestière d'ingénieurs (ENFI), Salé, Maroc.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud, P. Desjardins et L. Veilleux, 2009. *Mise à l'échelle opérationnelle du traitement hâtif de jours courts sur la morpho-physiologie et l'insuffisance racinaire des plants d'épinette noire (1+0) produits en tunnel*. Mémoire de recherche forestière no.154. 28 p.
- Lamhamedi, M.S., M. Abourouh et J.A. Fortin, 2009. *Technological transfer: The use of ectomycorrhizal fungi in conventional and modern forest tree nursery in northern Africa*. Dans *Advances in mycorrhizal science and technology*. Khasa, D., Y. Piché et A.P. Coughlan (Eds.). NRC Research Press, Canada. p. 139-152.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud et L. Veilleux, 2011. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières*. Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 33-45.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud, P. Desjardins et L. Veilleux, 2011. *Production de plants forestiers et changements climatiques : cas des extrêmes climatiques hivernaux*. Stand présenté au Carrefour Forêt Innovations: Inspiration, Motivation et Réussite. 4 au 6 octobre 2011, Centre des Congrès, Québec, Canada. 6 p.
- Lamhamedi, M.S., L. Veilleux, M. Renaud et P. Desjardins, 2011. *Prédiction et détermination des seuils de tolérance au gel en automne et techniques de protection contre le gel hivernal*. Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 53-64.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud, P. Desjardins et L. Veilleux, 2011. *L'utilisation des toiles claires peut-elle augmenter la croissance des racines des plants d'épinette blanche (1+0) en pépinière forestière ?* Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi (eds.), 2011. *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 87-95.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud, P. Desjardins et L. Veilleux, 2011. *Évaluation de la qualité morpho-physiologique du système racinaire des plants du mélèze laricin : les racines foncées ou noires peuvent-elles être considérées mortes ?* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis technique de recherche forestière SGRE-3. 33 p.
- Lamhamedi, M.S., S. Carles et F. Colas, 2011. *Qualité morpho-physiologique des semences et des plants d'épinette blanche : une affaire de famille*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière no. 29. 2 p.

- Lamhamedi, M.S., A. Rainville, F. Colas, N. Wahid, G. Prigent et J. Gravel-Grenier, 2011. *Les variétés somatiques à haut rendement : un outil précieux d'intensification de la production*. Stand présenté au Carrefour Forêt Innovations : Inspiration, Motivation et Réussite. 4 au 6 octobre 2011, Centre des Congrès, Québec, Canada. 6 p.
- Lamhamedi, M.S., M. Bakry et A. Zine El Abidine, 2011. *Mise en application de nouvelles percées technologiques en pépinière forestière et orientations stratégiques opérationnelles de modernisation de la filière de reboisement et de reconstitution de l'arganeraie*. Résumé publié dans : Synthèse des communications orales du Premier Congrès International sur l'Arganier. Acquis et perspectives de recherche scientifique. Agadir, 15-17 décembre 2011, Maroc. p. 23.
- Lamhamedi, M.S., M. Renaud, P. Desjardins et L. Veilleux, 2013. *Root growth, plug cohesion, mineral nutrition and carbohydrate content of (1+0) Picea mariana seedlings in response to a short-day-treatment*. Tree Planters'Notes 56 : 35-46.
- Landis, T.D., R.W. Tinus et J.P. Barnett. 1999. The container Tree Nursery Manual. Volume 6, Seedling propagation. Agric. Handbook 674. Washington, DC: USDA Forest Service. 166 p.
- Lebude, A.V., B. Goldfarb, F.A. Blazich, F.C. Wise et J. Frampton, 2004. *Mist, substrate water potential influence rooting of stem cuttings of loblolly pine*. Tree Physiology 24 : 823-831.
- Lee, S., 2009. *With such good Sitka spruce family forestry in the UK Clonal forestry? Why bother? Dans Vegetative Propagation and Deployment of Varieties – The Scope for Europe*. 22 avril 2009, Liverpool, Royaume-Uni.
- Lelu, M.A., K.K. Klimaszewska, C. Jones, C. Ward, P. von Aderkas et P.J. Charest, 1993. *Embryogenèse somatique de l'épinette et du mélèze – Guide des techniques de laboratoire*. Rapport d'information PI-X-111F, Institut forestier national de Petawawa, Service canadien des forêts. 59 p.
- Lelu, M.-A., D. Thompson, L. Harvengt, L. Sanchez, M. Toribio et L.E. Pâques, 2013. *Somatic embryogenesis in forestry with a focus on Europe : state-of-the-art, benefits, challenges and future direction*. Tree Genetics & Genomes 9 : 883-899.
- Le Roux, J.J. et J. Van Staden, 1991. Micro-propagation and tissue culture of Eucalyptus – a review. Tree Physiology 9 : 435-477.
- Lstiburek, M., T.J. Mullin et Y.A. El-Kassaby, 2006. *The impact of differential success of somatic embryogenesis on the outcome of clonal forestry programs. I. Initial comparison under multitrait selection*. Can. J. For. Res. 36 : 1376-1384.
- Luna, T., 2009. Chapter 9: *Vegetative propagation*. Dans Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries – volume 1. Dumroese, R., T. Luna et T.D. Landis (Eds). Agricultural handbook 730, USDA, forest service. p. 153-175.
- Macdonald, B., 1986. *Practical woody plant propagation for nursery growers*. Timber Press, Incorporated, Portland, Oregon. 669 p.
- Mallón, R., P. Coveló et A. María Vieitez, 2012. *Improving secondary embryogenesis in Quercus robur: application of temporary immersion for mass propagation*. Trees 26 (3) : 731-741.
- Margara, J., 1982. *Bases de la multiplication végétative*. INRA. 262 p.
- Martin, B., 1977. *Le bouturage des arbres forestiers. Progrès récents. Perspectives de développement*. R.F.F. vol. XXIII (4) : 245-262.
- Martin, B., 1986. *La multiplication végétative des feuillus forestiers. Perspectives de la culture in vitro*. ENGREF. 7 p.
- Martin, B., 1987. *Amélioration génétique des eucalyptus tropicaux : Contribution majeure à la foresterie clonale*. Thèse de l'université de Paris XI. 218 p.
- Martin, B., 2003. *L'Eucalyptus : un arbre forestier stratégique*. Rev. For. Fr. LV (2) : 141-154.
- Martin, B. et D. Prat, 1985. *Biotechnologie et forêt : Quelle place pour la foresterie clonale?* Biofutur 40 : 39-49.
- Martin, B. et G. Quillet, 1974. *Bouturage des arbres forestiers au Congo*. Rev. Bois et Forêts des Tropiques, nos. 154-155-156-157.
- Martínez-Alonso, C., A. Kidelman, I. Feito, T. Velasco, R. Alía, M.J. Gaspar et J. Majada, 2012. *Optimization of seasonality and mother plant nutrition for vegetative propagation of Pinus pinaster Ait*. New Forests, 43 : 651-663.
- Maruyama, T.E. et Y. Hosoi, 2012. *Post-maturation treatment improves and synchronizes somatic embryo germination of three species of Japanese pines*. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 110 : 45-52.

- McCall, E. et F. Isik, 2003. *Volume gains of rooted loblolly pine clones at age 10 in Florida and Alabama. Dans tree improvement and genetics-southern forest tree improvement conference.* p. 190-196.
- Mdarhri Alaoui, M., J. Boukmou et Z. Bouzoubaa, 2011. *Application de la biotechnologie pour la sauvegarde de l'arganeraie : étude de la multiplication in vitro. Dans Actes du premier congrès international de l'arganier.* 15-17 décembre, Agadir, Maroc. p. 119-123.
- Merkle, S.A. et H.E. Sommer, 1986. *Somatic embryogenesis in tissue cultures of Liriodendron tulipifera.* Can. J. For. Res. 16 : 420-422.
- Merkle, S.A. et J.F. Dean, 2000. *Forest tree biotechnology.* Curr. Opin. Biotechnol. 11 : 288-302.
- M'Hirit, O., M. Benzyane, F. Benchekrone, S.M. El Yousfi et M. Bendaanoun, 1998. *L'Arganier : une espèce fruitière-forestière à usages multiples.* Sprimont, Belgique, éditions Mardaga. 150 p.
- Michler, C.H. et E.O. Bauer, 1991. *High frequency somatic embryogenesis from leaf tissue of Populus spp.* Plant Science 77 : 111-118.
- Mikola, J., 2008. *Successes and failures in forest tree cutting production in Finland.* Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 114 : 39-43. Vegetative propagation of conifers for enhancing landscaping and tree breeding. Proceedings of the Nordic meeting, 10-11 septembre 2008, Punkaharju, Finlande.
- Misson, J.P., 2005. *Greffage du sapin de Nordmann (Abies Nordmanniana) en champ afin d'établir des vergers à graines pour la production d'arbres de Noël de qualité.* R.F.F. 57 (4) : 357-362.
- Misson, J.P., P. Coumans, P. Giot-Wirgot et T. Gaspar, 1982. *Induction de bourgeons adventifs sur bourgeons de Picea pungens en culture in vitro.* Z. Pflanzenphysiol. 107 : 161-168.
- Monteuuis, O., 1984. *La multiplication végétative du Sequoia géant en vue du clonage.* Annales de Recherches sylvicoles, AFOCEL. p. 139-171.
- Monteuuis, O. et M.C. Bon, 1987. *Enracinement et acclimatation de vitroplants forestiers.* Dans Comptes rendus du Symposium d'Arlon, Belgique. p. 160-169.
- Moon, H.K. et J.S. Yi, 1993. *Cutting Propagation of Quercus acutissima Clones After Rejuvenation Through Serial Grafting.* Annales des Sciences Forestières 50 (Suppl. 1) : 314s-318s.
- Mullin, T.J. et S. Bertrand, 1998. *Environmental release of transgenic trees in Canada – potential benefits and assessment of biosafety.* The Forestry Chronicle 74 (2) : 203-219.
- Murashige, T. et F. Skoog, 1962. *A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures.* Physiol. Plant. 15 : 473-497.
- Nanson, A., 2004. *Généétique et amélioration des arbres forestiers.* Les presses agronomiques de Gembloux. 712 p.
- Niskanen, A.M., J. Lu, S. Seitz, K. Keinonen, K. Von Weissenberg et A. Pappinen, 2004. *Effect of parent genotype on somatic embryogenesis in Scots pine (Pinus sylvestris).* Tree Physiology 24 : 1259-1265.
- Nkabka, B., 1981. *Techniques de micropropagation d'Eucalyptus rudis par la culture de noeuds in vitro.* Dans IUFRO, coll. interne sur la culture in vitro des essences forestières. AFOCEL. p 135-142.
- Nordborg, F. et N.T. Welander, 2001. *Growth responses of rooted cuttings from five clones of Picea abies (L.) Karst. After a short drought period.* Scand. J. For. Res. 16 : 324-330.
- Nsangou, M. et M. Greenwood, 1998. *Physiological and morphological differences between somatic, in vitro germinated, and normal seedlings of red spruce (Picea rubens Sarg.)¹.* Can. J. For. Res. 28 : 1088-1092.
- Orti, R., E. Magini, C. Ciampi, V. Baccari, A. Guerritore, G. Ramponi, A.M. Firenzvoli, P. Vanni, E. Mastronuzzi et A. Zanobini, 1968. *Note sur l'incompatibilité de greffes chez les conifères.* Silvae Genetica 17 : 121-132.
- Pâques, M. et J. Bercetche, 1995. *Multiplication végétative : micropropagation, embryogenèse somatique.* Éditeur : P. Boxus, Rennes : CNED-Aupelf-Uref. p. 117-179.
- Paton, D.M., R.R. Willing, W. Nicholls et L.D. Pryor, 1970. *Rooting of stem cuttings of Eucalyptus: a rooting inhibitor in adult tissue.* Aust. J. Bot. 18 : 175-183.
- Pawson, S.M., A. Brin, E.G. Brockerhoff, D. Lamb, T.W. Payn, A. Paquette et J.A. Parrotta, 2013. *Plantation forests, climate change and biodiversity.* Biodivers. Conserv. 22 : 1203-1227.

- Pépin, S., S. Boudreault, I. Paiement, J. Caron, et M.S. Lamhamedi, 2011. *Les propriétés physiques des substrats affectent-elles la croissance racinaire des plants d'épinette blanche (2+0) en pépinière forestière ?* Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi, (eds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 79-85.
- Pilate, G., M. Pâques, J.C. Leplé et C. Plomion, 2002. *Les biotechnologies chez les arbres forestiers*. Rev. For. Fr. LIV 2-2002. p. 161-180.
- Pintos, B., M.A. Bueno, B. Cuenca et J.A. Manzanera, 2008. *Synthetic seed production from encapsulated somatic embryos of cork oak (Quercus suber L.) and automated growth monitoring*. Plant Cell. Tiss. Organ Cult. 95 : 217-225.
- Platteborze, A., 1976. *Premiers essais de bouturage de L'Arganier à partir d'arbre adulte*. Rapport Station de recherche forestière, Rabat, Maroc. 9 p.
- Prat, D., P. Faivre Rampant et E. Prado, 2006. *Analyse du génome et gestion des ressources génétiques forestières*. INRA. Éditeur : Quae, Paris. 484 p.
- Pryor, L.D. et R.R. Willing, 1963. *The vegetative propagation of Eucalyptus and account of progress*. Aust. For. 27 : 52-62.
- Pumareda, L., F.R. Henry, Z. Charrouf, G. Pauly et G. Falconnet, 2006. *Valorisation des feuilles d'arganier: impact environnemental*. Bois Forêts des Tropiques. 287 (1) : 35-44.
- Purse, J.G., 1988. *Development of techniques for vegetative propagation of Pines. A review of progress and prospects*. Dans Beeding Tropical Trees, Population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry. Proceedings IUFRO meeting, Pattaya, Thaïlande. p. 298-310.
- Rainville, A., N. Wahid, M.S. Lamhamedi, G. Prigent et J. Beaulieu, 2011. *Les plants issus de l'embryogenèse somatique : un énorme potentiel à notre portée pour augmenter la productivité forestière !* Dans Colas, F. et M.S. Lamhamedi, (eds.), 2011. Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 119-124.
- Ramage, C.M. et R.R. Williams, 2002. *Mineral nutrition and plant morphogenesis*. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 38 : 116-124.
- Reao, P.E., S. Garton, K.A. Louis et E.S. Zimmermann, 1982. *In vitro propagation of species for bioenergy plantations*. Proc. 5th int. Congo Plant Tissue and Cell Culture. Plant Tissue Culture, p. 757-758.
- Renau-Morata, B., J. Ollero, I. Arrillaga et J. Segura, 2005. *Factors influencing axillary shoot proliferation and adventitious budding in cedar*. Tree Physiology 25 : 477-486.
- Riffaud, J.L. et D. Cornu, 1981. *Utilisation de la culture in vitro pour la multiplication de merisiers adultes (Prunus avium) sélectionnés en forêt*. Agronomie 1 : 633-640.
- Rioux, M., D. Tousignant, M.S. Lamhamedi et F. Colas, 2008. *Cutting propagation of forests conifer trees in Québec*. Combined Proceedings of the International Plant Propagators' Society 57 : 26-33.
- Roberds, J.H. et J.W. Bishir, 1997. *Risk analyses in clonal forestry*. Can. J. For. Res. 27 : 425-432.
- Romano, A., S. Barros et M.A. Martins-Loução, 2002. *Micropropagation of the Mediterranean tree Ceratonia siliqua*. Plant Cell Tissue Organ Cult. 68 : 35-41.
- Rweyongeza, D.M., F.C. Yeh et N.K. Dhir, 2004. *Genetic parameters for seasonal height and height growth curves of white spruce seedlings and their implications to early selection*. For. Ecol. Manage. 187 : 159-172.
- Saidi, R., A. Lamarti et A. Badoc, 2007. *Micropropagation du caroubier (Ceratonia siliqua) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules*. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux 146 : 113-129.
- Samah, K., 1993. *Initiation à la Culture In Vitro : Application au pin maritime*. Mémoire de 3^{ème} cycle de l'ENFI préparé au CNRF. 90 p.
- Sbay, H., 1985. *Essai de culture in vitro de jeunes plants d'aulnes élevés au laboratoire*. D.E.A. Biologie et physiologie végétale, Université Nancy I. 39 p.
- Sbay, H., 1989. *Contribution à l'amélioration génétique de l'aulne : L'apport de l'hybridation interspécifique*. Thèse de doctorat de l'université de Nancy I. 213 p.

- Sbay, H., 2000. *Première campagne de greffage de Pin pignon au Maroc*. Dans 1^{er} Simposio del Pino Pinonero (*Pinus pinea* L.). 22 au 24 février 2000, Valladolid, Espagne. p. 173-175.
- Sbay, H., 2008. *Le caroubier au Maroc : un arbre d'avenir*. Dans collection Nature, Centre de Recherche Forestière, Rabat, Maroc. 47 p.
- Sbay, H. et M. Taroq, 2003. *The culture of the poplar in Morocco: Realities and perspectives*. Dans International Conference on the future of poplar culture. 13 au 15 novembre 2003, Rome, Italie. 13 p.
- Sbay, H., J. Guillot, P. Dantu et D. Prat, 1989. *In vitro multiplication of interspecific hybrids of Alnus sp.* Ann. sci. for. No. 46 suppl. : Forest tree physiology. E. Dreyer & al., eds. Elsevier / INRA. p. 155-157.
- Schermann, N., M. Verger et J.C. Bastien, 1996. *Sélection de familles de sapin de Douglas (Pseudotsuga menziesii) pour leur aptitude au bouturage : conséquences pour la diffusion de variétés améliorées*. Ann. Sci. For. 53 : 1113-1126.
- Schmidt, L., 1993. *Vegetative propagation – guidelines on grafting, air-layering and cuttings*. FAO field manual 5, RAS/91/004. 27 p.
- Siniscalco, C., 1994. *Propagation par greffage de plantes sélectionnées de cèdre (Cedrus atlantica (endl.) carr.)*. Ann. Rech. For. Maroc 27 : 475-486.
- Slak, M.F. et J.M. Favre, 1990. Possibilités actuelles de la multiplication végétative chez les chênes. Rev. For. Fr. XLII – 2 : 220-226.
- Soriano, L., F. de Assis Alves Mourao Filho, L.E.A. Carmargo, M. Cristofani-Yali, R.R. Latado, C. de Andrade Pacheco, F.A. de Azevedo et B.M.J. Mendes, 2012. *Regeneration and characterization of somatic hybrids combining sweet orange and mandarin/mandarin hybrid cultivars for citrus scion improvement*. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 111 : 385-392.
- Stasolla, C., L. Kong, E.C. Yeung et T. Thorpe, 2002. *Maturation of somatic embryos in conifers: morphogenesis, physiology, biochemistry, and molecular biology*. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 38 : 93-105.
- Stelzer, H.E., 1997. *Evaluating genetic diversity concerns in clonal deployments*. Can. J. For. Res. 27 : 438-441.
- Stelzer, H.E. et B. Goldfarb, 1997. *Implementing clonal forestry in the southeastern United States: SRIEG satellite workshop summary remarks*. Can. J. For. Res. 24 : 442-446.
- Stowe, D.C., M.S. Lamhamedi et H. Margolis, 2001. *Water relations, cuticular transpiration, and bud characteristics of air-slit containerized Picea glauca seedlings in response to controlled irrigation regime*. Can. J. For. Res. 31 : 1922-1929.
- Stowe, D. C., M.S. Lamhamedi, S. Carles, B. Fecteau, H.A. Margolis, M. Renaud et P. Bernier, 2010. *Managing irrigation to reduce nutrient leaching in containerized white spruce seedling production*. New Forests 40 : 185-204.
- Tautorus, T.E., L.C. Fowke et D.I. Dunstan, 1991. *Somatic embryogenesis in conifers*. Can. J. Bot. 69 : 1873-1899.
- Teissier du Cros, E., (Coordonnateur), 1999. *Conservier les ressources génétiques forestières en France*. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Bureau des Ressources Génétiques, Commission des Ressources Génétiques Forestières, INRA-DIC, Paris. 60 p.
- Timmis, R., 1998. *Bioprocessing for tree production in the forest industry : conifer somatic embryogenesis*. Biotechnol. Prog. 14 (1) : 156-166.
- Tousignant, D. et M. Rioux, 2002. *Le bouturage des résineux à la pépinière de Saint-Modeste (Québec, Canada) : 10 ans de recherche, de développement et d'innovations*. Dans Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. Troisième rencontre du groupe de la Sainte-Catherine, 22-24 novembre 2000, CIRAD-INRA, éditeur : Verger, M. p. 65-86.
- Tousignant, D., P. Périnet et M. Rioux, 1996. *Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste*. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. 45 p.
- Tousignant, D., F. Colas, M. S. Lamhamedi, L. Tremblay et D. Girard, 2007. *Les acquis et retombées de la recherche pour le programme de reboisement de l'épinette blanche au Québec*. Dans Colloque de transfert de connaissances « Des plants aux plantations : techniques, technologies et performances ». p. 1-5.

- Tousignant, D., L. Tremblay, M. Rioux, J.Y. Guay, A. Bonneau et C. Rioux, 2007a. *Pépinière de Saint-Modeste*. Bélanger, P., M. Perron, P. Périnet et M. Desponts (éds.). Guide des visites de terrain - LARIX 2007 : Symposium international du groupe de travail de l'IUFRO - S2.02.07 (Larch Breeding and Genetic Resources) - Integrated research activities for supply of improved larch to tree planting: tree improvement, floral biology and nursery production. 21 septembre 2007. Saint-Modeste, Québec, Canada. p. 53-62.
- Tousignant, D., M.S. Lamhamedi, F. Colas, M. Rioux, P. Lemay et N. Robert, 2007b. *Percées technologiques en bouturage en vue d'augmenter la productivité forestière*. Document d'accompagnement au stand thématique présenté dans le cadre du Carrefour de la recherche forestière - La connaissance éloigne les préjugés. 19 et 20 septembre 2007, Québec, Canada. p. 1-6.
- Tousignant, D., M.S. Lamhamedi et M. Rioux, 2008. *Station 2A : Cutting propagation - Using the conifer cutting propagation pathway to increase forest productivity in Québec*. Visite sur le terrain préconférence à la pépinière de Berthier lors du Colloque de l'ACAA sur les semences dans le cadre du Congrès conjoint IUFRO-ACAA 2008 - L'adaptation, l'amélioration et la conservation à l'ère de la génomique forestière et des changements environnementaux. 24 août 2008, Berthier, Québec, Canada. 4 p.
- Tousignant, D., M.S. Lamhamedi, F. Colas et M. Rioux, 2008. *Seed size and family effects on vegetative propagation rates of stock plants for the mass cutting propagation of white spruce (Picea glauca)* Dans Résumé d'une affiche présentée lors de l'atelier de l'ACAA sur les semences dans le cadre du Congrès conjoint IUFRO-ACAA 2008 - L'adaptation, l'amélioration et la conservation à l'ère de la génomique forestière et des changements environnementaux. 25 août 2008, Québec, Canada. 32 p.
- Touzet, G., 1983. *Perspective d'avenir de la culture d'arbres*. Bull. Soc. Roy. Forest. Belg. 90 : 305-315.
- Tranvan, H., et A. David, 1985. *Greffage in vitro du pin maritime (Pinus pinaster)*. Can. J. Bot. 63 : 1017-1020.
- Tranvan, H., F. Bardat, M. Jacques et Y. Arnaud, 1991. *Rajeunissement chez le Sequoia sempervirens : effets du microgreffage in vitro*. Can. J. Bot. 69 : 1772-1779.
- Tremblay, F.M., 1990. *Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from embryos isolated from stored seeds of Picea glauca*. Can. J. Bot. 68 : 236-242.
- Tremblay, L. et M.S. Lamhamedi, 2006. *Embryogenèse somatique au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec : Du laboratoire au site de plantation*. Des plants et des Hommes, 9 (3) : 6-11.
- Tremblay, L., M.S. Lamhamedi et F. Colas, 2007. *État actuel de l'intégration à l'échelle opérationnelle de l'embryogenèse somatique des conifères au Québec*. Résumé d'une conférence présentée lors du Colloque sur la ligniculture - La stratégie d'investissements sylvicoles au Québec : où se situe la ligniculture? dans le cadre du 75^e Congrès de l'Acfas. 8 et 9 mai 2007, Trois-Rivières, Québec, Canada. p. 13.
- Tremblay, L., M.S. Lamhamedi, F. Colas et J. Beaulieu, 2007. *Utilisation de l'embryogenèse somatique en foresterie multiclonale au Québec*. Dans Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances. Carrefour de la recherche forestière. 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. p. 13-16.
- Tzifira, T., A. Zuker et A. Altman, 1998. *Forest-tree biotechnology: genetic transformation and its application to future forests*. The Forestry Chronicle 74 (2) : 195-219.
- Vance, E.D., D.A. Maguire et R.S. Zalesny Jr., 2010. *Research strategies for increasing productivity of intensively managed forest plantations*. Journal of Forestry, juin 2010. p. 183-192.
- Van Frankenhuyzen, K. et T. Beardmore, 2004. *Current status and environmental impact of transgenic forest trees*. Can. J. For. Res. 34 : 1163-1180.
- Vicient, C.M. et F.X. Martinez, 1998. *The potential uses of somatic embryogenesis in agroforestry are not limited to synthetic seed technology*. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 10 (1) : 1-12.
- Vieitez, A.M., E. Corredoira, M.T. Martinez, M.C. San-Jose, C. Sanchez, S. Valladares, N. Vidal et A. Ballester, 2012. *Application of biotechnological tools to Quercus improvement*. Eur. J. Forest Res. 131 : 519-539.
- Vinterhalter, D., D. Grubisic, D. Bojovic-Cvetic et S. Budimir, 1992. *Lenticel hypertrophy in shoot cultures of Ceratonia siliqua L.* Plant Cell Tiss. Organ Cult. 31 (2) : 111-114.

- Wahid, N., H. Jouidre, M.S. Lamhamedi, A. Zine El Abidine et A. Boulli, 2010. *Évaluation de la structure et de la variabilité génétiques des populations naturelles du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill.) au Maroc à l'aide de marqueurs isoenzymatiques*. Acta Bot. Gallica 157 (3) : 419-431.
- Wahid, N., M.S. Lamhamedi, J. Beaulieu, H. Margolis et J. Deblois, 2012. *Genetic parameters and clonal variation in growth and nutritional traits of containerized white spruce somatic seedlings*. Acta Botanica Gallica 159 (3) : 373-384.
- Wahid, N., A. Rainville, M.S. Lamhamedi, H. Margolis, J. Beaulieu, et J. Deblois, 2012. *Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests*. Forest Ecology and Management 270 : 45-53.
- Wahid, N., M.S. Lamhamedi, A. Rainville, J. Beaulieu et H.A. Margolis, 2013. *Genetic control and nursery-plantation genotypic correlations for growth characteristics of white spruce somatic clones*. Journal of Sustainable Forestry 32 : 576-593.
- Walali, L.D., 1993. *La multiplication in vitro des espèces ligneuses : état actuel et perspectives de développement*. Dans Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes? Éditeur : AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris. p. 399-409.
- Walter, B., P. Bass, R. Legin, R. Vernoy, A. Collas et G. Vesselle, 1990. *The use of a green grafting technique for the detection of virus-like disease of the grapevine*. Journal of Phytopathology 128 : 137-145.
- Wang, W., B. Vinocur et A. Altman, 2003. *Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures : towards genetic engineering for stress tolerance*. Planta 218 : 1-14.
- Werner, M., 1979. *Present methods of propagation in Norway spruce and future aspects*. Dans Proceeding of the IUFRO joint meeting of working parties on Norway spruce provenance and Norway spruce breeding, Bucarest, Roumanie. p. 117-128.
- Whetten, R.W. et R. Kellison, 2010. *Research gap analysis for application of biotechnology to sustaining US forests*. Journal of Forestry, juin 2010. p. 193-201.
- Wightman, K.E., 1999. *Good tree nursery practices – practical guidelines for community nurseries*. International centre for research in agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenya. 95 p.
- Wigmore, B.G. et J.H. Woods, 2000. *Cultural procedures for propagation of rooted cuttings of Sitka spruce, western hemlock, and Douglas-fir in British Columbia*. Res. Br. B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work Pap. 46/2000. 38 p.
- Williams, D.J., B.P. Dancik et R.P. Pharis, 1987. *Early progeny testing and evaluation of controlled crosses of black spruce*. Can. J. For. Res. 17 : 1442-1450.
- Yadav, K., N. Singh et S. Verma, 2012. *Plant tissue culture: a biotechnological tool for solving the problem of propagation of multipurpose endangered medicinal plants in India*. Journal of Agricultural Technology 8 : 305-318.
- Yeates, L.D., R.F. Smith, S.I. Cameron et J. Letourneau, 2005. *Techniques recommandées pour la mise en culture de boutures d'if du Canada (Taxus canadensis)*. Rapport d'information M-X-219F. 17 p.
- Zaczek, J.J. et K.C. Steiner, 1997. *Grafting-Mediated Meristem Selection Influences Rooting Success of Quercus rubra*. Can. J. For. Res. 27 (1) : 86-90.
- Zaczek, J.J., K.C. Steiner, C. Heuser, J. Tzilkowski et W.M. Tzilkowski, 2006. *Effects of serial grafting, ontogeny, and genotype on rooting of Quercus rubra cuttings*. Can. J. For. Res. 36 (1) : 123-131.
- Zine El Abidine, A. et M.S. Lamhamedi, 1994. *Production des plants et techniques de plantation des Eucalyptus au Maroc*. Dans Les Eucalyptus au Maroc. Eds. Fechtal, M. et E.K. Achhal. p. 84-104. ISBN: 9981 9796 00.
- Zobayed, S.M.A., F. Afreen-Zobayed, C. Kubota et T. Kozai, 2000. *Mass propagation of Eucalyptus camaldulensis in a scaled-up vessel under in vitro photoautotrophic condition*. Annals of Botany 85 : 587-592.
- Zobel, B. et J. Talbert, 1984. *Applied forest tree improvement*. Éditeur : Wiley, New York. 505 p.
- Zryd, J.P., 1988. *Cultures de cellules, de tissus et organes végétaux : Fondements théoriques et utilisations pratiques*. Éditeur : Presses polytechniques romandes, Lausanne, Suisse. 307 p.

Glossaire

Pour faciliter la tâche aux praticiens de la multiplication végétative, ce glossaire englobe les termes cités dans cet ouvrage et quelques termes non cités mais largement utilisés dans la filière de la multiplication végétative.

Acide gibbérellique (GA3, GA7...) : phytohormone qui régularise la croissance (l'allongement des entre-nœuds), incluant la stimulation de la germination.

Agroforesterie : mode d'exploitation des terres agricoles associant des plantations d'arbres dans des cultures ou des pâturages.

Amélioration génétique : science ou art de modifier la constitution génétique d'une population et de sélectionner des plantes ou des animaux dans une direction donnée.

Asepsie : méthode préventive utilisée pour éviter toute infection microbienne.

Autoclavage : stérilisation sous pression dans un récipient à parois épaisses et à fermeture hermétique.

Auxines : molécules organiques, naturelles ou synthétiques, qui régularisent la croissance des plantes (phytohormones) et sont impliquées dans le contrôle de la croissance cellulaire et de la dominance apicale ainsi que dans la formation des racines adventives.

Banque de gènes : dispositif de conservation ex situ du matériel génétique (semences, tissus ou cellules reproductrices).

Binage : consiste à ameublir la couche superficielle du sol autour des plantes cultivées.

Biodiversité (ou diversité biologique) : variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, des écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et des complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces (diversité génétique) et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes.

Biologie moléculaire : discipline scientifique au croisement de la génétique, de la biochimie et de la physique.

Biomasse : masse totale des organismes vivants présents à un moment donné dans un biotope particulier (énergie renouvelable issue de l'énergie des plantes).

Biotechnologie : ensemble de techniques biologiques issues de la recherche fondamentale, et maintenant utilisées en recherche appliquée et au développement de produits industriels. Ces techniques comprennent notamment le génie génétique, la fusion de cellules et la multiplication à grande échelle par des techniques de culture in vitro, comme l'embryogenèse somatique.

Bourgeon : région de tissu méristématique pouvant se développer en feuilles, racines et fleurs ou en combinaisons des trois; protégé généralement par des feuilles modifiées en écailles.

Bourgeon adventif : bourgeon issu de néoformation (origine épidermique).

Bourgeon axillaire : bourgeon situé à l'aisselle d'une feuille.

Bourgeon terminal : pousse non développée au bout d'une branche, contenant des bourgeons floraux ou des feuilles rudimentaires, enfermés dans les écailles protectrices du bourgeon.

Bouturage : développement de racines sur un rameau détaché de l'arbre-mère pour reconstituer un individu.

Bouturage à l'étouffée : technique qui consiste à enfermer des boutures dans un espace clos et saturé d'humidité afin d'en favoriser l'enracinement.

Bouturage en cascade : mode de multiplication végétative basé sur une succession de cycles de multiplication et selon lequel les dernières boutures enracinées deviennent les pieds-mères où l'on prélève les boutures requises pour le cycle suivant.

Bouturage des racines : boutures obtenues à partir de sections de racines isolées.

Bouturathèque : étagère à plusieurs niveaux dans laquelle on aménage des mini serres éclairées artificiellement afin d'y placer les boutures pendant leur phase d'enracinement. Par extension, on appelle « système Bouturathèque » l'ensemble du système de bouturage de la pépinière de Saint-Modeste.

Bouture : partie d'une tige, d'un rameau ou d'une racine, détachée d'une plante-mère et employée pour produire une nouvelle plante qui aura le même génotype.

Brumisation : application de fines gouttelettes d'eau pour maintenir l'humidité autour des plantules et des boutures qui n'ont pas encore développé un système racinaire efficace.

Cal : bourrelet de cellules indifférenciées qui se forme autour d'une plaie. En cas de greffe, le cal se forme à la soudure entre le greffon et le porte-greffe. À partir des cellules du cal de nouveaux tissus vasculaires se constitueront pour permettre au greffon et au porte-greffe de fonctionner comme une seule plante.

Cambium : une ou deux couches de cellules d'un tissu végétal méristématique, entre le xylème et le phloème, donnant naissance aux tissus secondaires, et résultant ainsi en une augmentation du diamètre de la tige ou de la racine. Les deux cambiums les plus importants sont le cambium vasculaire (fasciculaire) et le cambium externe (produisant du liège).

Cambium vasculaire : chez les plantes biennuelles et pluriannuelles, le cambium donnant naissance au phloème secondaire et xylème secondaire.

Caractère qualitatif : caractère à variation discontinue, c.a.d. les individus peuvent être classés comme appartenant à l'une d'un nombre limité de classes distinctes.

Caractère quantitatif : caractère mesurable à variation continue (ex. taille, poids, intensité de couleur, etc.) c.a.d. la population ne peut pas être classée dans un nombre limité de classes distinctes.

Champignons ectomycorhiziens : champignons qui forment des mycorhizes où les hyphes pénètrent peu dans la racine et restent à l'extérieur des cellules.

Chlorose : la chlorose des végétaux est une décoloration plus ou moins prononcée des feuilles.

Cire : esters d'acides et d'alcools à longues chaînes, insolubles dans l'eau. Les cires forment des couches protectrices et imperméables à l'eau sur les feuilles, les fruits, les tiges, la fourrure des animaux et sur les téguments d'insectes.

Clone : ensemble d'individus génétiquement identiques (ramets), issus d'une même plante (ortet) par multiplication végétative.

Conditions axéniques : conditions stériles, exempt de tout parasite.

Conditions édaphiques : qui se rapportent au sol.

Conservation des ressources génétiques : conservation des espèces, des populations, des individus ou de parties d'individus par les méthodes in situ ou ex situ, afin de maintenir une diversité du matériel génétique disponible pour les générations présentes et futures.

Conservation ex situ : conservation des composants de la diversité biologique en dehors de leur habitat naturel.

Conservation in situ : conservation des écosystèmes et des habitats naturels et maintenance et rétablissement des populations d'espèces viables dans leur milieu naturel et dans le cas d'espèces domestiquées ou cultivées, dans les milieux où ils ont développé leurs propriétés distinctives.

Convention sur la Diversité Biologique (Abréviation : CBD = Convention on Biological Diversity) : Traité international concernant la conservation et l'usage des ressources biologiques dans le monde. Cette convention a aussi demandé l'établissement de règles visant à régir le mouvement international des organismes vivants non-indigènes et des organismes génétiquement modifiés.

Croisement contrôlé : croisement artificiel de deux individus réalisé par l'intermédiaire de l'homme, par opposition au croisement libre ou par le vent.

Croisements dirigés : croisements contrôlés.

Croissance plagiotrope : croissance s'orientant sur un plan oblique.

Croissance orthotrope : croissance verticale.

Cryoconservation : Conservation de tissu, explants, graines, pollen, etc. par le froid à basses températures et plus particulièrement dans l'azote liquide (-196°C) qui permet en principe une conservation indéfinie des tissus ou explants.

Cryogénie : voir cryoconservation.

Cultivar (Abréviation : cv) : terme internationalement reconnu représentant une variété de plantes cultivées. Cette dernière doit se différencier des autres variétés par des caractéristiques données qu'elle doit conserver quand elle est reproduite dans des conditions bien déterminées.

Culture : population de cellules animales ou végétales ou de microorganismes développée dans des conditions contrôlées.

Culture axénique : exempte de contaminants externes et de symbiotes internes; généralement elle ne s'accomplit pas en stérilisant seulement la surface. Utilisée parfois incorrectement pour indiquer une culture aseptique.

Culture d'apex méristématiques : cultures obtenues à partir des explants de pointes de méristèmes. Largement utilisé pour accomplir

l'élimination des virus et pour la prolifération des pousses axillaires; moins utilisé pour la production de cal.

Culture de cal : technique de culture tissulaire végétale, généralement sur un milieu solidifié, qui débute par l'inoculation de petits explants. Utilisée comme base pour l'organogenèse (formation de pousse ou de racine), pour les cultures cellulaires ou pour la prolifération embryoïde. Les cultures de cal peuvent être maintenues indéfiniment grâce à des subcultures (repiquages) périodiques.

Culture de méristèmes : culture tissulaire comportant un tissu du dôme méristématique sans primordia foliaires adjacents ou tissus caulinaires. Le terme peut impliquer aussi la culture des régions méristématiques des plantes ou la croissance des méristèmes en culture.

Culture *in vitro* : ensemble de techniques de culture d'organismes ou de cellules vivantes, en milieu artificiel et stérile, hors d'un organisme vivant, et permettant notamment d'obtenir de nombreuses copies d'un clone.

Culture intensive : système de production agricole fondé sur l'optimisation de la production par rapport à la surface cultivée.

Cuticule : couche de cutine ou de cire, formée sur la surface externe des feuilles ou des fruits; on suppose qu'elle s'est développée pour réduire la perte d'eau par évaporation.

Cytokinines : régulateurs de croissance des plantes décrits comme des substances induisant la division et la différenciation cellulaires. En culture tissulaire, ces substances sont associées à la croissance du cal et au développement de la racine. Ces composés sont des dérivés de l'adénine.

Débourrement : éclosion des bourgeons végétatifs.

Déficit de pression de vapeur (DPV) : le DPV est la différence entre la pression de vapeur saturante et la pression de vapeur dans la masse d'air considérée. Pour une même température (T°), le DPV varie avec l'humidité relative de l'air. Si la T° de l'air est 20°C et son HR : 60%, son DPV est de 7,02 mm Hg; si la T° de l'air est portée à 30°C (sans que son humidité ne soit changée), le DPV passe de 7,02 à 21,32 mm Hg : la vitesse d'évaporation est triplée. Généralement, le DPV devrait être maintenu en dessous de 1,0 kPa pour que le plant soit soumis à des stress hydriques acceptables (1 kPa = 103 Pa; 1 atm = 0,1013 MPa = 760 mm Hg).

Descendance : progéniture; ensemble des individus issus d'un croisement.

Développement : somme totale des événements contribuant à l'élaboration progressive d'un organisme. Les deux principaux aspects du développement sont la croissance et la différenciation.

Diversité génétique : variation héritée au sein et entre les populations, créée, activée et maintenue par les forces évolutives ou sélectives. Cette diversité confère à une population la possibilité de s'adapter (au sens génétique) aux variations environnementales, ce qu'un individu ne peut faire.

Dominance apicale : phénomène où la croissance des bourgeons latéraux (axillaires) chez une plante est inhibée par la présence du bourgeon terminal (apical) sur la branche. Ceci est expliqué par l'exportation des auxines du bouton apical.

Drageon : pousse naissant à partir d'une racine ou d'une tige souterraine.

Eau libre : eau cellulaire libérée dans les espaces intercellulaires lorsqu'un tissu est congelé puis décongelé. Contraire de : eau liée.

Eau liée : eau cellulaire non libérée dans l'espace intercellulaire lors de la congélation et décongélation. Contraire de : eau libre.

Écosystème : ensemble d'une communauté vivante et de son environnement, fonctionnant comme une unité écologique dans la nature. Voir : abiotique; facteurs biotiques.

Écotype : population ou souche d'un organisme qui est adaptée à un habitat particulier.

Embryogenèse somatique : procédé de culture *in vitro* qui résulte en la formation d'embryons à partir de cellules somatiques, c'est-à-dire non reproductrices, donc sans passer par la fécondation. Ce phénomène permet d'obtenir de nombreuses copies identiques d'un individu.

Embryon : ensemble de cellules issues de l'union des gamètes mâles et femelles (le zygote) et donnant naissance à une plantule au sein de la graine.

Embryon somatique : voir embryogenèse somatique.

Embryon zygotique : embryon issu de la fusion des deux gamètes mâle et femelle.

Endurcissement : adaptation des plantes qui poussent dans les serres ou dans un environnement contrôlé aux conditions externes en réduisant la disponibilité de l'eau, en diminuant la température, en augmentant l'intensité de la lumière ou en réduisant l'apport nutritionnel. Le processus d'endurcissement conditionne les plantes à survivre lorsqu'elles sont transplantées en plein air.

Entre-nœud : région d'une tige comprise entre deux nœuds successifs.

Espèce endémique : espèce naturellement restreinte à une zone limitée.

Espèces allogames : privilégient la fécondation croisée.

Explant : morceau d'une plante prélevé aseptiquement et préparé pour être mis en culture dans un milieu nutritif.

Facteur biotique : ensemble des interactions du vivant sur le vivant dans un écosystème.

Facteur abiotique : ensemble des facteurs physico-chimiques sur un écosystème.

Famille : groupe d'individus qui ont au moins un parent commun. Les individus issus de pollinisation libre forment une famille uniparentale (demi-fratrie), alors que ceux issus d'un croisement dirigé forment une famille biparentale (fratrie).

Fécondation : fusion des gamètes mâle et femelle en une cellule.

Foresterie : ensemble des sciences, des arts et des activités ayant trait à la conservation, l'aménagement, la gestion et la création des forêts.

Foresterie clonale : culture à grande échelle des clones (=variétés).

Foresterie polyclonale : culture intensive de plusieurs clones.

Gain génétique : amélioration génétique moyenne des descendants d'individus sélectionnés par rapport à la génération de leurs parents. Elle est fonction de l'intensité de sélection, de la variation et de l'héritabilité du caractère considéré.

Gemmage : opération qui consiste à blesser les arbres de certaines espèces pour en récolter la gemme ou résine.

Génétique : étude scientifique des modalités de l'hérédité des caractères chez les êtres vivants.

Génome : ensemble des gènes présents dans un organisme.

Génotype : constitution héréditaire d'un individu pour un ou plusieurs caractères particuliers.

Gourmand : rameau se développant directement sur le fût d'un arbre à partir d'un bourgeon préexistant qui se réveille après que le tronc d'un arbre ait été isolé et mis en lumière par une coupe forte. La présence de gourmands déprécie la qualité du bois.

Greffage : mise en contact étroit, cambium contre cambium, d'une partie de plante, bourgeon ou rameau, avec une autre plante de façon à ce qu'il y ait union et croissance. La plante entière sur laquelle s'effectue le greffage, comprenant tige et racines, se nomme porte-greffe. La partie greffée est le greffon. Dans une greffe, la partie aérienne et le système racinaire conservent leur génotype respectif.

Greffage de pousse apicale : pousse apicale ou apex méristématique greffé sur une plantule préparée ou sur un porte-greffe micropropagé en culture. Le greffage des apex méristématiques est principalement utilisé pour l'élimination in vitro des virus à partir du Citrus spp. et d'autres plantes. Synonyme : microgreffage.

Greffage en chip budding : fait partie des greffes dites « à oeil », tel l'écussonnage. Elle peut s'effectuer à oeil poussant ou à oeil dormant.

Greffage en couronne : méthode de greffage en tête de gros arbres portant des moignons dont le diamètre supérieur à 3 cm rend difficile ou irréalisable le greffage en fente.

Greffage en écusson ou écussonnage : technique de greffage particulière où le greffon peut être constitué de plusieurs bourgeons. C'est une technique plus rentable puisqu'elle permet de produire davantage de greffons à partir d'une seule plante-mère.

Greffage en fente : comme son nom l'indique cette technique nécessite de fendre le porte-greffe et d'insérer le greffon dans la fente.

Greffage en placage : consiste à appliquer deux rameaux l'un contre l'autre.

Greffer/greffe : 1. Verbe. Placer une branche détachée ou un bourgeon (greffon) sur une tige enracinée (porte-greffe) en tenant leurs cambiums en contact étroit de sorte que l'union forme une seule plante. 2. Nom. Greffe, synonyme familier de greffon.

Greffon : rameau ou bourgeon destiné à être greffé sur une autre plante ou porte-greffe.

Héritabilité : degré avec lequel un caractère donné est contrôlé par l'hérédité, au lieu d'être contrôlé par des facteurs non génétiques. Voir : hérabilité au sens large; hérabilité au sens strict.

Héritabilité au sens large : fraction de la variance phénotypique totale qui résulte d'une variation génétique ou d'une interaction entre le génotype et l'environnement.

Héritabilité au sens strict : proportion de la variance phénotypique due à la variation des valeurs génétiques; proportion de la variance phénotypique due à la variance génétique additive.

Hétérogénéité intraclonale : différences observées entre les individus issus du même clone.

Horticulture : c'est l'art de cultiver les jardins, de pratiquer la culture des légumes, des fleurs, des arbres ou arbustes fruitiers et d'ornement.

Hotte à flux d'air laminaire : hotte pour les manipulations de cultures tissulaires ou cellulaires qui nécessitent un environnement stérile. Ce dernier est réalisé par un flux d'air continu et non turbulent sur la surface de travail, stérilisé au moyen d'un filtre.

Hybridation : croisement consistant à accoupler des individus de constitutions génétiques différentes. Hybride : au sens strict, descendant d'un croisement entre individus d'espèces différentes. Au sens large, le terme est employé aussi bien pour désigner le produit d'un croisement interspécifique (entre espèces différentes) que d'un croisement intraspécifique (entre individus d'une même espèce, notamment de races ou de variétés différentes).

Individus-élites : les meilleurs individus les plus remarquables ayant prouvé leurs performances.

Juvenilité : relatif à la jeunesse.

Lignée : groupe d'individus descendant d'une même origine. Ex : une lignée cellulaire *in vitro* dérivée d'une seule cellule.

Ligniculture : culture intensive des arbres généralement en taillis à courte rotation.

Marcottage : technique de propagation végétative, dans laquelle les nouvelles plantes produisent des racines adventives avant d'être séparées de la plante-mère.

Mégagamétophyte : gamétophyte femelle.

Méristème : tissu végétal indifférencié mais déterminé, dont les cellules sont capables de se diviser activement et se différencier en tissus spécialisés comme les racines et les pousses.

Méristème apical : région à l'extrémité de chaque racine et de chaque pousse d'une plante dans laquelle la division cellulaire a lieu sans interruption pour produire de nouveaux tissus de tige et de racine respectivement. On distingue deux régions dans le méristème apical : une région extérieure de 1-4 couches de cellules (la tunica), où les divisions cellulaires sont anticlinales; et en-dessous de la tunique, (ii) le corpus, où les cellules se divisent dans toutes les directions, et augmentent en volume.

Microbouturage : technique de multiplication végétative qui consiste à prélever des fragments d'une plante et à les cultiver en flacons fermés, pour régénérer un seul ou un grand nombre d'individus.

Microgreffage : pousse apicale ou apex méristématique greffé sur une plantule préparée ou sur un porte-greffe.

Micropropagation : Multiplication et/ou régénération (en miniature) *in vitro* de matériel végétal dans des conditions environnementales aseptiques et contrôlées.

Milieu de culture : tout système de nutriment pour la culture des cellules, des bactéries ou d'autres organismes; habituellement, c'est un mélange complexe de nutriments organiques et inorganiques.

Monoïque : espèce végétale ayant des fleurs mâles et des fleurs femelles séparées sur la même plante (ex.: maïs).

Morphogenèse : développement de la forme et de la structure d'un organisme par la croissance et la différenciation.

Multiplication de masse : reproduction à grande échelle d'une population donnée, sans tenir compte de l'identité des individus.

Multiplication végétative : reproduction d'une plante par voie asexuée, c'est-à-dire par greffage, bouturage, marcottage, embryogenèse somatique, etc. Le bagage génétique des plantes obtenues selon ce mode de reproduction est théoriquement identique à celui de la plante-mère.

Mycorhize : champignon en association, ou en relation symbiotique avec les racines des plantes les plus développées.

Nappes alfatières : l'alfa est une graminée vivace, originaire des régions arides de l'Ouest du bassin de la Méditerranée; elle pousse en touffes d'environ un mètre de haut, formant de vastes «nappes» dans les régions aride et semi-aride. Elle organise des écosystèmes pratiquement sans arbres et sur d'immenses étendues des régions arides de l'Afrique du Nord. Ces steppes à alfa se développent sur des sols bien drainés et plus ou moins rocheux.

Organogenèse : initiation de pousses ou de racines de novo ou adventives à partir de cal, de méristèmes ou de cultures en suspension. Voir: micropropagation.

Organogenèse directe : formation d'organes directement sur la surface d'explants intacts cultivés. Le processus ne comporte pas la formation de cal. Contraire de : organogenèse indirecte.

Organogenèse indirecte : formation d'organes végétaux à partir de tissus de cal provenant d'explants. Contraire de : organogenèse directe.

Ortet : plante à partir de laquelle un clone est obtenu. Synonyme : plante donneuse.

Parcs à hybridation : dispositif visant à rassembler dans un verger des géniteurs en vue de réaliser des croisements contrôlés.

Parc à pieds mères : dispositif de pépinière visant à conserver sous forme d'arbres nanifiés (et rajeunis par recépage tous les ans) des copies végétatives d'individus sélectionnés.

Pathogène : organisme (généralement microbien : bactéries, champignons, virus; mais peut s'étendre à d'autres organismes : ex. les nématodes, etc.) causant une maladie. Synonyme : agent infectieux.

Phénologie : chez les plantes, succession au cours de l'année des phénomènes périodiques tels que le débourrement, la floraison, l'arrêt de la croissance, en relation avec la température, la photopériode, etc.

Phénotype : apparence visible d'un individu (concernant un ou plusieurs caractères) qui reflète la réaction d'un génotype donné avec un environnement donné.

Phloème : tissu spécialisé chez les plantes vasculaires pour le transport des assimilats (généralement des sucres) du lieu de synthèse (dans les feuilles) vers les autres parties de la plante. Il est composé de tubes criblés, de cellules compagnes, de parenchyme du phloème et de fibres.

Phloème secondaire : phloème formé par le cambium vasculaire durant la croissance secondaire des plantes vasculaires.

Photopériode : longueur de jour ou durée d'illumination journalière fournie pour la croissance.

Photosynthèse : processus chimique par lequel les plantes vertes synthétisent des composés organiques, en présence de la lumière solaire, à partir du dioxyde de carbone et de l'eau.

Photosynthèse nette : activité photosynthétique diminuée de l'activité respiratoire, mesurée par l'absorption nette du dioxyde de carbone.

Pied-mère : plante source à partir de laquelle des boutures ou des explants sont obtenus. Les pied-mères doivent être bien maintenus pour optimiser la qualité de l'explant et de la bouture.

Porte-greffe : partie d'une racine ou d'un tronc sur laquelle des bourgeons ou des greffons sont insérés par greffage. Voir : sujet.

Potentiel de pression : pression générée à l'intérieur d'une cellule, étant la différence nette entre le potentiel osmotique de la cellule et le potentiel hydrique du milieu externe.

Potentiel hydrique : gradient de pression qui induit le flux d'eau, concernant particulièrement l'absorption de l'eau du sol par les plantes, comportant les effets nets de la succion, des solutés et des forces capillaires.

Potentiel osmotique : changement dans l'état énergétique d'un solvant, entraîné par la dissolution d'une substance dans le solvant – l'eau dans les sciences biologiques. Le potentiel des solutions aqueuses est toujours négatif par rapport à l'eau pure. Le solvant passe des solutions à potentiel osmotique élevé vers celles à potentiel osmotique plus bas par diffusion ou osmose.

Pousse apicale : bourgeon terminal (0,1-1mm) d'une plante, qui se compose du méristème apical (0,05-0,1mm) et des primordia foliaires immédiatement environnants, des feuilles en développement et du tissu de tige adjacent. Synonyme : apex de pousse.

Pousses adventives : pousses se développant en position inhabituelle.

Pousses axillaires : pousses situées à l'aisselle d'une feuille.

Pression de turgescence : pression dans une cellule résultant de l'absorption d'eau dans la vacuole et de l'imbibition d'eau par le protoplasme.

Primordium : groupe de cellules qui donne naissance à un organe.

Propagation clonale : propagation asexuée de plusieurs nouvelles plantes (ramets) à partir d'un seul individu (ortet); toutes possèdent le même génotype.

Provenance : origine géographique initiale et naturelle d'un lot de semences, de pollen, de boutures ou de greffons. Une provenance est représentée par les semences, le pollen ou les descendants de plusieurs arbres.

Race : groupe identifiable d'organismes appartenant à une espèce particulière. Les critères de distinction peuvent être un facteur ou une combinaison de facteurs géographiques, écologiques, physiologiques, morphologiques, génétiques et caryotypiques (ensemble de chromosomes).

Racine : l'axe descendant d'une plante, normalement souterrain, servant à fixer la plante, à absorber et à transporter l'eau et les nutriments minéraux.

Rajeunissement : rendre les cellules jeunes capable de se régénérer (retrouver la totipotence).

Ramet : copie ou clone issus d'un ortet.

Régénération : production de pousses ou de racines à partir d'explants.

Régulateur de croissance des plantes : composé organique, naturel ou synthétique, autre qu'un nutriment, qui modifie ou contrôle un ou plusieurs processus physiologiques spécifiques à l'intérieur d'une plante.

Reproduction asexuée : multiplication sans intervention des gamètes mâle et femelle.

Reproduction sexuée : reproduction par la fusion de deux cellules sexuées (gamètes), mâle et femelle, pour qu'un nouvel organisme soit formé. C'est le cas de la production de graines chez les végétaux.

Ressources génétiques végétales : (Abréviation: RGV). Matériel de propagation reproductif ou végétatif de : 1. variétés cultivées (cultivars) actuellement utilisées et récemment créées; 2. cultivars obsolètes; 3. cultivars primitifs (landraces); 4. espèces sauvages et adventices,

proches parentes de variétés cultivées; et 5. stocks génétiques spéciaux (y compris les lignées de sélection avancées, les lignées d'élite et les mutants).

Rhizogenèse : formation des racines.

Scion : jeune arbre greffé en pied à la fin de la première année de végétation du greffon.

Sélection (artificielle ou dirigée) : pratique de sélection d'individus dans une population pour la reproduction, généralement parce que ces individus possèdent un ou plusieurs caractères désirés.

Sélection clonale : sélection des clones.

Sélection de masse : pratique utilisée dans l'amélioration génétique des plantes et des animaux. C'est la sélection d'un nombre d'individus, selon leurs phénotypes, qui vont former la génération suivante par intercroisement.

Sélection génétique : processus de sélection de gènes, de cellules, de clones, etc., au sein d'une population ou entre des populations ou des espèces. La sélection génétique résulte généralement de la différence des taux de survie des génotypes variés, reflétant plusieurs variables, y compris la pression sélective et la variabilité génétique présentes dans les populations.

Semences d'élite : semences améliorées très performantes.

Sève : contenu fluide des cellules du xylème et du phloème des plantes. Le contenu fluide de la vacuole est généralement appelé sève cellulaire.

Sève cellulaire : eau et substances dissoutes, sucres, acides aminés, déchets, etc., dans la vacuole des cellules végétales.

Sevrage ou acclimatation : succession d'opérations qui doit habituer la nouvelle plante à une vie autonome dans les conditions naturelles.

Stère (st) : unité métrique de volume correspondant à un mètre cube, utilisée pour mesurer les bois de charpente et de chauffage.

Stress : conditions non optimales pour la croissance. Les stress peuvent être imposés par des facteurs biotiques (pathogènes, ravageurs) ou abiotiques (liés à l'environnement, tels que la chaleur, la sécheresse, etc.).

Stress biotique : stress résultant des effets de certains facteurs biotiques.

Stress hydrique : se produit quand les plantes sont incapables d'absorber une quantité d'eau suffisante pour remplacer celle perdue par la transpiration. Un stress de courte durée mène à la perte de la turgescence (flétrissement). Un stress prolongé mène à un arrêt de croissance et éventuellement à la mort de la plante.

Subéraie : forêt ou peuplements forestiers dominés par le Chêne-liège, en latin *Quercus suber*. Le mot *suber* qui signifie liège. Cette espèce produit une écorce épaisse, périodiquement récoltable sans trop endommager ou affaiblir les arbres, fournissant du liège, matériau assez unique pour ses propriétés physiques, chimiques, esthétiques, etc.

Substance de croissance : toute substance organique, autre que les nutriments, synthétisée par les plantes et qui régule la croissance et le développement. Elles sont généralement produites dans une région particulière comme la pousse apicale, et elles sont transportées vers d'autres régions où elles exercent leur action.

Symbiose : association étroite et réciproquement profitable entre deux types différents d'organismes vivants. La colonisation des racines des plantes légumineuses par une souche de rhizobium sp. est un exemple saillant.

Tétracinaie : formation à Thuya (*Tetraclinis sp.*) (synonyme : callitraie).

Test clonal : plantation comparative permettant d'évaluer les clones selon un plan statistique approprié.

Test de descendance : plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer la valeur génétique de certains parents à partir des performances de leurs descendants.

Test de provenances : plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer des populations d'une même espèce d'origines géographiques variées.

Thermopériode : chaleur moyenne durant une période donnée.

Tige : corps principal de la partie aérienne d'un arbre, d'un arbuste, d'une herbe ou d'une autre plante; l'axe ascendant, au-dessus ou au-dessous du sol, d'une plante.

Tissu : groupe de cellules de structure similaire qui exécute parfois une fonction spécifique.

Tissu embryogène : groupe de cellules cultivées *in vitro*, et capables de se différencier pour former des embryons somatiques.

Tolérance : résistance incomplète à un stress biotique ou abiotique donné. Les génotypes tolérants sont moins inhibés par le stress, mais ils ne sont pas immunisés.

Totipotence : la propriété d'une cellule de se différencier en n'importe quelle cellule spécialisée et de se structurer en formant un être vivant.

Traçabilité : aptitude à retrouver la trace d'un matériel ou d'un produit.

Trait : une parmi plusieurs des caractéristiques qui définissent un organisme. Le phénotype est une description d'un ou de plusieurs traits. Synonyme : caractère.

Unité fourragère (UF) : est l'unité utilisée pour déterminer la valeur énergétique d'un fourrage. Cette unité fait référence à la valeur énergétique d'un kg d'orge récolté au stade grain mûr.

Variabilité génétique : résultat des mutations qui font apparaître de nouveaux allèles. Une même mutation peut avoir des effets phénotypiques différents.

Variabilité individuelle : différences entre individus.

Variabilité interspécifique : différences entre les espèces.

Variabilité intraspécifique : ensemble de différents variants génétiques observés dans un ensemble d'individus d'une même espèce.

Variation somaclonale : changements génétiques ou épigénétiques induits pendant la phase de callogenèse des cellules végétales cultivées *in vitro*.

Variétés : 1. Subdivision naturelle d'une espèce, avec des caractères morphologiques distincts. 2. Souche définie de plantes cultivées, sélectionnées sur la base de l'homogénéité phénotypique (parfois génotypique).

Variétés multi-clonales : variétés composées de plusieurs clones sélectionnés et destinés à une zone d'amélioration génétique particulière.

Vergers à graines : plantation aménagée pour une production rapide et abondante de semences améliorées pour le reboisement. On peut les qualifier de première ou de deuxième génération, selon l'état d'avancement des programmes d'amélioration génétique.

Verges clonales : verges à graines composées de semenciers issus de clones multipliés végétativement (habituellement par greffe), par opposition à un verger de semis.

Vitroplants : plants issus de la culture in vitro.

Vitrothèque : dispositif pour la conservation des vitroplants.

Xylème : tissu complexe spécialisé pour la conduction de l'eau et des nutriments minéraux en solution. Le xylème peut aussi fonctionner comme un tissu de support, particulièrement le xylème secondaire.

La gestion durable des écosystèmes forestiers et agrosylvopastoraux en Afrique du Nord, sous l'angle du maintien et de la fourniture de biens et services multiples, se trouve confrontée à un défi de taille spécifique à la mise en application de stratégies opérationnelles. L'objectif de ces stratégies consiste à trouver un équilibre, d'une part, entre la satisfaction des besoins en produits ligneux de chaque pays et des populations riveraines, dont la pression sur les écosystèmes forestiers ne cesse d'augmenter et, d'autre part, la restauration et la conservation de la diversité des ressources génétiques à usages multiples.

Ainsi, le recours au développement de programmes bien structurés qui sont axés sur la sélection génétique et les techniques de multiplication végétative des essences hautement productives, à usages multiples et de haute valeur économique et écologique contribuera certainement à l'amélioration du niveau et de la qualité de vie des populations rurales. Ces techniques pourront également être utilisées dans le cadre de programmes de conservation *ex situ* des ressources génétiques et ce, de façon complémentaire aux programmes de conservation *in situ*.

Les auteurs ont unifié leurs efforts et leur passion pour publier la première édition de ce guide sur les techniques de multiplication végétative. En texte et en images, les principales techniques sont clairement expliquées et vulgarisées. Ceci permettra au praticien de se familiariser rapidement avec ces techniques, de choisir de façon éclairée celle qui répond à ses objectifs, et de réaliser chaque opération avec efficacité et succès.

L'intégration de ces techniques à l'échelle opérationnelle contribuera à l'augmentation de la productivité des essences forestières et agroforestières à usages multiples et à l'amélioration de la conservation des ressources génétiques face aux changements climatiques.

